



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

공동주택 지하주차장의 결로 방지 방안
평가 및 활용

Evaluation and Application of Proactive Solution for
Preventing Condensation in Underground Parking lot of
Apartment Buildings

2017 년 2월

서울대학교 대학원

건축학과

이 창 래

공동주택 지하주차장의 결로 방지 방안 평가 및 활용

Evaluation and Application of Proactive Solution for
Preventing Condensation in Underground Parking lot of
Apartment Buildings

지도교수 김 광 우

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2017 년 2 월

서울대학교 대학원
건축학과
이 창 래

이창래의 공학석사 학위논문을 인준함

2017 년 2 월

위원장	인
부위원장	인
위원	인

국문 초록

지하주차장의 주요 하자인 결로는 안전 및 환경적, 경제적 측면에서 많은 문제를 야기하고 있다. 결로수로 인하여 보행자 및 차량이 미끄러져 안전사고를 유발시킬 뿐만 아니라, 곰팡이 증식으로 인한 실내공기질 악화 및 미관상의 문제를 일으킨다. 결로 문제를 해결하기 위해 다양한 결로 방지 방안을 적용하고 있으나 결로 방지 방안들의 적용에도 불구하고 지하주차장의 결로 발생을 효과적으로 막지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 지하주차장 결로 방지 방안 적용에 앞서 지하주차장의 결로 발생 메커니즘을 파악한 뒤 결로 방지 방안을 적용할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 공동주택 지하주차장의 결로 발생 메커니즘을 파악하고, 기준, 문헌 그리고 전문가 인터뷰 등을 통해 제안된 기존의 지하주차장 결로 방지 방안을 평가 및 활용하여 공동주택 지하주차장 결로 방지를 위한 방향성을 제시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 외기의 온도변화에도 불구하고 주차공간 및 엘리베이터 홀 공간의 온도나 구조체의 표면온도는 지중의 영향으로 거의 변화가 없지만 절대습도는 외기 변화 범위 안에 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 하절기 습기의 유입으로 결로가 발생하는 것으로 판단되며 바닥 표면온도와 노점온도의 차이는 최대 3 ℃ 차이가 나는 것으로 나타났다. 주차공간의 경우 입주 후 내부발열 등으로 인해 온도가 상승하여 결로 발생 위험이 적어지는 것으로 나타났다. 엘리베이터 홀의 경우 내부발열 요소가 없어 결로 발생 위험이 더 높은 것으로 판단된다.

(2) 주차공간에 단열재, 이중벽과 같은 열성능을 향상시키는 방안을 바닥이 아닌 벽체에 적용하는 것은 큰 효과가 없을 것으로 판단된다. 또한, 외방수와 같은 구조체의 함수율을 낮추어 열성능을 향상시키는 방안은 결로 방지하는 효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 환기팬을 통한 결로 방지 방안은 외기유입으로 공급되는 열량이 불충분하여 결로가 상당기간 발생하는 것으로 나타났다. 엘리베이터 홀의 경우 결로 방지를 위해 단열재와 제습장치를 적용할 수 있으며, 단열재의 경우 결로를 완벽하게 방지하지 못하는 반면, 제습기 방안은 결로를 방지할 수 있는 것으로 나타났고, 에어컨의 경우 설정온도가 낮을수록 결로 방지에 효과적인 것으로 나타났다.

(3) 주차공간 바닥의 단열성능을 향상시키고 환기팬 가동 제어 방안을 활용하면 상당기간 결로 발생 시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 바닥의 단열성능이 확보된 공간에서 가열기기를 제어하여 가동하면 결로 방지뿐만 아니라 가동시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 경제성 측면에서도 단열성능을 확보하고 가열기기를 운영하는 것이 경제적인 것으로 판단된다.

엘리베이터 홀의 경우 단열재를 적용 후 제습기를 가동하면 단열재를 적용하지 않은 공간보다 제습량이 줄어드는 것으로 나타났다. 에어컨의 경우 단열재를 함께 적용하면 높은 설정온도로 결로 방지가 가능한 것으로 나타났다. 그러나 경제성 측면에서 단열재와 에어컨을 적용하는 것은 불리하고, 제습기만을 가동하는 것이 가장 경제적이라 판단된다.

주요어 : 지하주차장, 결로, 단열, 가열, 환기, 제습

학 번 : 2015-21116

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	4
제 2 장 지하주차장 결로 및 방지 방안에 관한 예비적 고찰	8
2.1 개요	8
2.1.1 결로의 종류 및 발생 원리	8
2.1.2 지하주차장 결로	11
2.2 지하주차장 결로 방지 방안 고찰	12
2.2.1 주차공간 결로 방지 방안	12
2.2.2 엘리베이터 홀 결로 방지 방안	17
2.3 소결	21
제 3 장 지하주차장 결로 발생 메커니즘 분석	22
3.1 개요	22
3.1.1 지하주차장 결로 발생 시기	23
3.1.2 지하주차장 결로 발생 위치	25
3.2 지하주차장 결로 발생 메커니즘	28
3.2.1 주차공간 결로 발생 메커니즘	28
3.2.2 엘리베이터 홀 결로 발생 메커니즘	32
3.3 소결	37

제 4 장 지하주차장 결로 방지 방안 평가	38
4.1 개요	38
4.1.1 결로 방지 메커니즘에 따른 방안 도출 및 분류	38
4.1.2 평가대상 선정	41
4.1.3 시뮬레이션 개요	43
4.2 주차공간 결로 방지 방안 평가	46
4.2.1 단열 방안 평가	46
4.2.2 가열 방안 평가	52
4.2.3 환기 방안 평가	53
4.3 엘리베이터 홀 결로 방지 방안 평가	59
4.3.1 단열 방안 평가	59
4.3.2 제습 방안 평가	61
4.4 소결	66
 제 5 장 지하주차장 결로 방지 방안 활용	 68
5.1 개요	68
5.2 주차공간 결로 방지 방안 활용	69
5.2.1 가열 제어를 통한 결로 방지	69
5.2.2 단열 적용 및 가열 제어를 통한 결로 방지	75
5.3 엘리베이터 홀 결로 방지 방안 활용	78
5.4 소결	84
 제 6 장 결 론	 85
 참고 문헌	 88
ABSTRACT	90

표 목 차

<표 2.1> 건설사별 엘리베이터 홀 결로 방지 설계지침	19
<표 2.2> 건설사별 엘리베이터 홀 결로 방지 설비 설계지침	20
<표 3.1> 지하주차장 관련정보	22
<표 4.1> 지하주차장 결로 방지 방안 평가대상	42
<표 4.2> 주차공간 및 엘리베이터 홀의 열물성치	43
<표 4.3> 벽체, 바닥 단열재 적용 케이스	48
<표 4.4> 건설사별 지하주차장 바닥 레이어 구성	49
<표 4.5> 월 평균 외기 노점온도, 절대습도 그리고 제습량	63
<표 4.6> 제습부하 및 에어컨 성능	64
<표 5.1> 주차공간 바닥 구조체의 열물성치 및 타입	75
<표 5.2> 케이스별 결로 발생시간 및 가동시간	76
<표 5.3> 주차공간의 결로 방지 케이스별 초기투자비용 및 연간운영비	77
<표 5.4> 단열재 적용에 따른 제습기의 제습량 및 가동시간	80
<표 5.5> 단열재 적용 및 에어컨 가동에 따른 결로발생 시간 및 가동시간	82
<표 5.6> 엘리베이터 홀 결로 방지 케이스별 초기투자비용 및 연간운영비	83

그 립 목 차

[그림 1.1] 연도별 세대당 주차 대수	1
[그림 1.2] 결로 발생 부위별 처리비용 비중	2
[그림 1.3] 연구흐름도	7
[그림 2.1] 공기의 온도, 수증기압 그리고 상대습도의 관계	9
[그림 2.2] 표면결로 및 내부결로가 발생하는 벽체	10
[그림 2.3] 지하주차장 결로 사례	11
[그림 2.4] 주차공간 이중벽 단면도 및 입면도	14
[그림 2.5] 주차공간 결로 방지 방안	17
[그림 2.6] 엘리베이터 홀의 이중벽	18
[그림 2.7] 엘리베이터 홀 결로 방지 방안	20
[그림 3.1] 지하주차장 평면도	22
[그림 3.2] 지역별 지중온도 및 노점온도 변화	23
[그림 3.3] 입주에 따른 구조체 표면온도 변화 비교	24
[그림 3.4] 동절기 열류의 흐름과 외기, 공간, 바닥표면 및 지중의 온도	25
[그림 3.5] 하절기 열류의 흐름과 외기, 공간, 바닥표면 및 지중의 온도	26
[그림 3.6] 지하주차장 온습도 및 표면온도 측정 위치	27
[그림 3.7] 지하주차장 측정 위치별 온도	27
[그림 3.8] 지하주차장 측정 위치별 상대습도	27
[그림 3.9] 주차공간의 표면온도 및 노점온도 변화	29
[그림 3.10] 외기온도와 주차공간의 공간, 표면 및 노점온도 변화	30
[그림 3.11] 외기, 주차공간의 절대습도 및 상대습도 변화	30
[그림 3.12] 외기온도 및 램프, 심부의 표면온도	31
[그림 3.13] 외기절대습도 및 램프, 심부 위치의 절대습도	31
[그림 3.14] 지중에 면하지 않은 엘리베이터 홀과 지중에 면한 엘리베이터 홀	32
[그림 3.15] 지중에 면한 엘리베이터 홀	33

[그림 3.16] 외기 및 엘리베이터 홀별 온도	34
[그림 3.17] 외기 및 엘리베이터 홀별 상대습도	34
[그림 3.18] 외기, 엘리베이터홀 및 주요 공간의 온도	35
[그림 3.19] 외기, 엘리베이터 홀 및 주요 공간의 절대습도	35
[그림 3.20] 주차공간, 엘리베이터 홀의 표면온도 및 노점온도 변화	36
[그림 4.1] 결로 방지 메커니즘 및 영향인자	39
[그림 4.2] 주차공간 및 엘리베이터 홀의 결로 발생 메커니즘 및 방지 방안	40
[그림 4.3] 이동식 열풍기	41
[그림 4.4] 주차공간의 실측 및 시뮬레이션 결과 비교	45
[그림 4.5] 엘리베이터 홀의 실측 및 시뮬레이션 결과 비교	45
[그림 4.6] 단열재 두께 변화에 따른 벽체 및 바닥의 표면온도	48
[그림 4.7] 단열재 두께 변화에 따른 벽체 및 바닥의 결로 발생시간	48
[그림 4.8] 콘크리트 열전도율에 따른 벽체 및 바닥의 표면온도	51
[그림 4.9] 콘크리트 열전도율에 따른 벽체 및 바닥의 결로 발생시간	51
[그림 4.10] 가열에 따른 월별 결로 발생 시간 및 월평균 표면온도	52
[그림 4.11] 가열에 따른 공간온도, 구조체의 표면온도 및 노점온도 변화	53
[그림 4.12] 동절기 실내, 하절기 주차공간의 절대습도	54
[그림 4.13] 하절기 팬 작동에 따른 주차공간의 절대습도 변화	55
[그림 4.14] 환기팬 작동에 따른 월평균 현열 및 잠열의 획득 및 손실 열량	56
[그림 4.15] 환기량 변화에 따른 획득 현열량	57
[그림 4.16] 환기량 변화에 따른 벽체 및 바닥의 표면온도	58
[그림 4.17] 환기량 변화에 따른 벽체 및 바닥의 결로 발생시간	58
[그림 4.18] 단열재 두께 변화에 따른 벽체 및 바닥의 표면온도	59
[그림 4.19] 단열재 두께 변화에 따른 벽체 및 바닥의 결로 발생시간	60
[그림 4.20] 단열재 25 mm 및 175 mm 적용 시 바닥 표면온도 및 노점온도 변화	61
[그림 4.21] 제습기 가동에 따른 월별 결로 발생 시간 및 표면온도	62
[그림 4.22] 제습기 가동에 따른 표면온도, 노점온도 그리고 제습량 변화	63

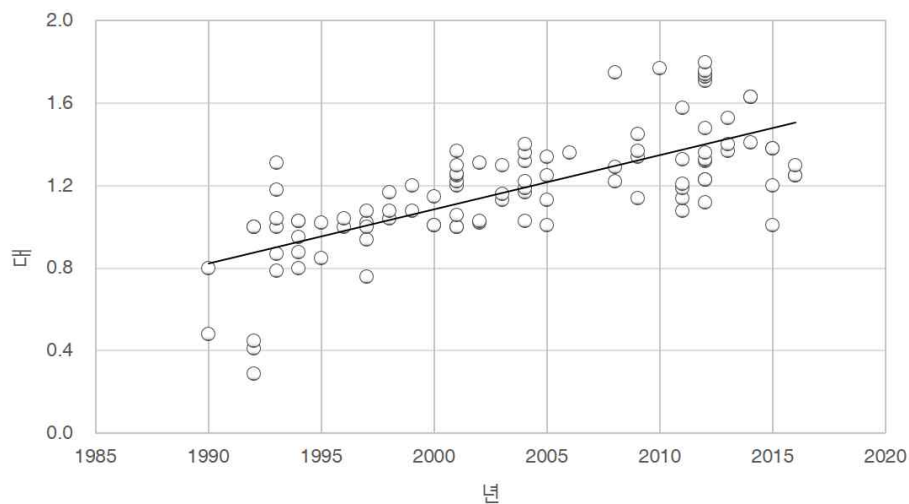
[그림 4.23] 에어컨 설정온도에 따른 결로 발생 시간	65
[그림 4.24] 에어컨 가동(설정온도 18 ℃)에 따른 표면온도 및 노점온도	65
[그림 5.1] Balance of factors in preventing condensation	68
[그림 5.2] 가열기기 제어 알고리즘	71
[그림 5.3] α 값 변화에 따른 결로 발생시간 및 가동시간	71
[그림 5.4] 가열 제어에 따른 공간, 바닥 표면 및 노점온도 변화 ($\alpha=3, 7$)	72
[그림 5.5] 환기팬 제어 알고리즘	73
[그림 5.6] β 값 변화에 따른 결로 발생시간 및 가동시간	73
[그림 5.7] 환기팬 제어에 따른 외기, 바닥 표면 및 노점온도 변화 ($\beta=3$)	74
[그림 5.8] 제습기 가동 시 공간, 바닥 표면 및 노점온도	79
[그림 5.9] 제습기 가동 시 공간, 바닥 표면 및 노점온도 (단열재 적용)	79
[그림 5.10] 에어컨 가동에 따른 바닥 표면 및 노점온도	81
[그림 5.11] 에어컨 가동에 따른 바닥 표면 및 노점온도 (단열재 적용)	81

제 1 장 서 론

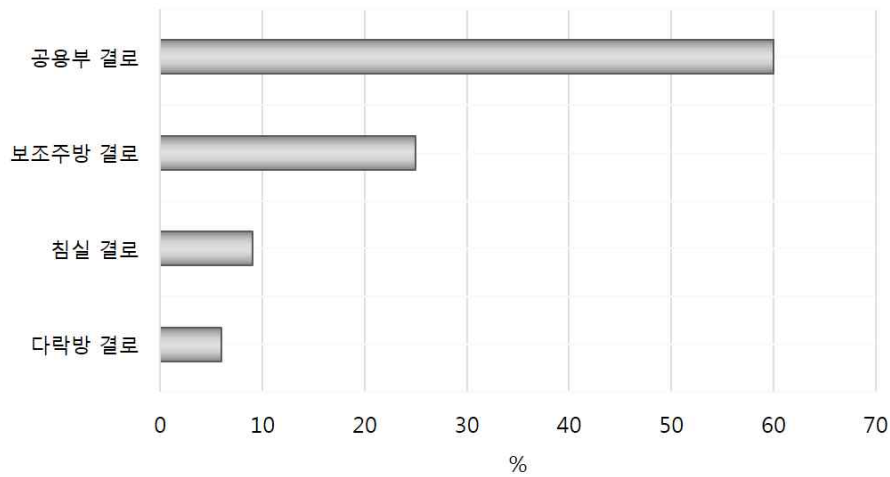
1.1 연구의 배경 및 목적

최근 지어지는 공동주택은 거주자의 편의성과 녹지 공간 확대를 위해 지상주차공간을 축소하고 지하주차면적을 증가시키는 추세이다. 또한, 세대 당 보유 차량 수의 증가로 공동주택 내에서 수용해야하는 차량 수가 증가하였다[그림 1.1]. 이로 인해 지하주차장의 규모는 점점 증대되고 있고, 지하주차장 내에 엘리베이터 홀, 체육시설 등 다양한 공간구성으로 많은 입주민들이 지하주차장을 이용하는 시간과 빈도가 증가하였다. 따라서 지하주차장에서 발생하는 누수, 결로 등과 같은 하자 관리의 중요성이 대두되고 있다.

지하주차장의 주요 하자인 결로는 안전 및 환경적, 경제적 측면에서 많은 문제를 야기하고 있다. 결로수로 인하여 보행자 및 차량이 미끄러져 안전사



[그림 1.1] 연도별 세대당 주차 대수



[그림 1.2] 결로 발생 부위별 처리비용 비중¹⁾

고를 유발시킬 뿐만 아니라, 곰팡이 증식으로 인한 실내공기질 악화 및 미관상의 문제를 일으킨다. 또한, 지하주차장과 같은 공용부에 발생한 결로 처리비용은 결로 하자 처리비용 중 가장 큰 부분을 차지하기 때문에 경제적인 측면에서도 문제가 되고 있다[그림 1.2].

일반적으로 동절기 공동주택 세대 내에서 발생하는 결로와는 달리, 지하주차장과 같은 지하 공간의 결로는 대부분 하절기에 발생한다.²⁾ 세대 내에서 발생하는 결로는 동절기 차가워진 구조체와 샤워, 취사, 인체의 호흡 등의 활동으로부터 발생한 수증기로 인해 결로가 발생하게 된다. 반면, 지하주차장에서 발생하는 결로는 지중의 영향으로 차가워진 표면에 하절기 습한 외기가 유입되어 결로가 발생하게 된다. 이처럼 지하주차장 결로는 지중의 영향과 습한 외기가 형성되는 하절기에 결로가 발생하게 된다.

1) 서용원, 2010, 공동주택 지하주차장의 열적특성을 고려한 바닥 표면결로방지 방안에 관한 연구, 한국건축시공학회 추계 학술논문 발표대회 논문집, 10(2), pp.49-53

2) 국토교통부, 2014, 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인, p.96

세대 내에서 발생하는 결로를 방지하기 위하여 환기를 하거나, 표면온도를 높게 유지하기 위하여 단열재를 설치하거나, 난방을 하는 등의 방안을 적용하여 결로를 방지한다. 지하주차장 공간 특성상 규모가 크고, 사람이 사는 공간이 아니기 때문에 세대 내에 적용하는 단열, 난방과 같은 결로 방지 방안을 적용하기에는 어려움이 존재한다. 따라서 지하주차장의 결로 문제를 해결하기 위해 건설사에서는 다양한 결로 방지 방안을 적용하고 있다. 그러나 결로 방지 방안들의 적용에도 불구하고 지하주차장의 결로 발생을 효과적으로 막지 못하고 있는 실정이다. 일반적으로 지하주차장의 결로 방지를 위해 환기팬을 가동한다. 지하주차장의 환기설비는 차량으로부터 나오는 일산화탄소 농도를 낮추기 위해 설치되지만 결로 방지를 목적으로 환기팬을 활용하기도 한다. 그러나 환기팬 가동에도 불구하고 결로를 효과적으로 막지 못하고 있으며, 이 밖에 다양한 방지 방안의 적용에도 불구하고 결로가 발생하고 있는 실정이다.

이처럼 지하주차장은 공간 특성상 적용 가능한 방지 방안이 한정적이고, 지하주차장의 결로 발생 특성을 정확히 분석하여 결로 방지 방안을 적용하는 것이 아니라 대부분 임기응변식의 대응이 이루어지기 때문에 결로 발생을 막지 못하고 있다. 그러므로 지하주차장 결로 방지 방안 적용에 앞서 지하주차장의 결로 발생 메커니즘을 파악한 뒤 결로 방지 방안을 적용할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 공동주택 지하주차장의 결로 발생 메커니즘을 파악하고, 기준, 문헌 그리고 전문가 인터뷰 등을 통해 제안된 기존의 지하주차장 결로 방지 방안을 평가 및 활용하여 공동주택 지하주차장 결로 방지를 위한 방향성을 제시하는 것을 목표로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 지하주차장 공간 내에 차량을 주차하는 주차공간과 사람들이 세대로 진입하기 위해 엘리베이터를 승차하는 엘리베이터 홀을 대상공간으로 설정하였으며, 지층의 영향이 가장 큰 최하층을 대상으로 하였다. 결로는 내부 결로와 표면결로 두 종류가 있지만, 본 연구에서는 안전사고, 실내공기질 악화 그리고 미관상의 문제를 야기하는 표면결로를 연구 범위로 한정하였다. 결로 발생은 시뮬레이션을 통해 표면온도가 노점온도보다 낮을 때 결로가 발생한 것으로 판단하였고, 결로가 발생한 타임스텝 동안 계속 결로가 발생하는 것으로 가정하였다. 따라서 본 연구에서는 결로 발생의 양은 다루지 않으며, 결로 발생 유무만을 판단하여 지하주차장의 결로 방지 방안을 평가하였다.

연구의 목적을 달성하기 위하여 기준, 가이드라인, 문헌 조사 그리고 전문가 인터뷰를 통하여 지하주차장에 현재 적용되고 있는 결로 방지 방안을 고찰하였으며, 실측을 통하여 지하주차장의 결로가 발생하는 메커니즘을 파악하였다. 또한, 시뮬레이션을 통해 기존의 고찰한 지하주차장 결로 방지 방안들을 평가하였으며, 결로 방지가 가능한 방안을 활용하여 결로 방지 성능을 분석하고 타당성을 검토하였다.

본 연구의 범위 및 방법을 연구 진행 순서에 따라 정리하면 다음과 같다.

(1) 지하주차장 결로 방지 방안에 관한 예비적 고찰

지하주차장 결로 방지 방안을 분석하기에 앞서 결로의 종류와 발생 원리와 지하주차장 결로에 대하여 고찰하였다. 지하주차장 결로 방지 방안은 차량을 주차하는 주차공간과 세대 내 진입하기 위해 엘리베이터를 승차하는 엘리베이터 홀로 구분하여 기준 및 가이드라인, 연구 문헌 그리고 전문가 인터뷰를 통하여 결로 방지 방안을 파악하였다.

(2) 지하주차장 결로 발생 메커니즘 분석

지하주차장 결로가 발생하는 원인 및 시기를 실측 및 외기의 노점온도와 지중의 온도 데이터를 통해 결로가 발생하는 기간을 파악하였으며, 결로의 발생이 국부적으로 발생하는지 전체적으로 발생하는지 실측데이터를 통해 분석하였다. 또한, 외기, 공간의 온·습도 그리고 구조체의 표면온도를 실측하여 결로가 발생하는 시기에 어떠한 메커니즘으로 지하주차장에 결로가 발생하는지를 파악하였다.

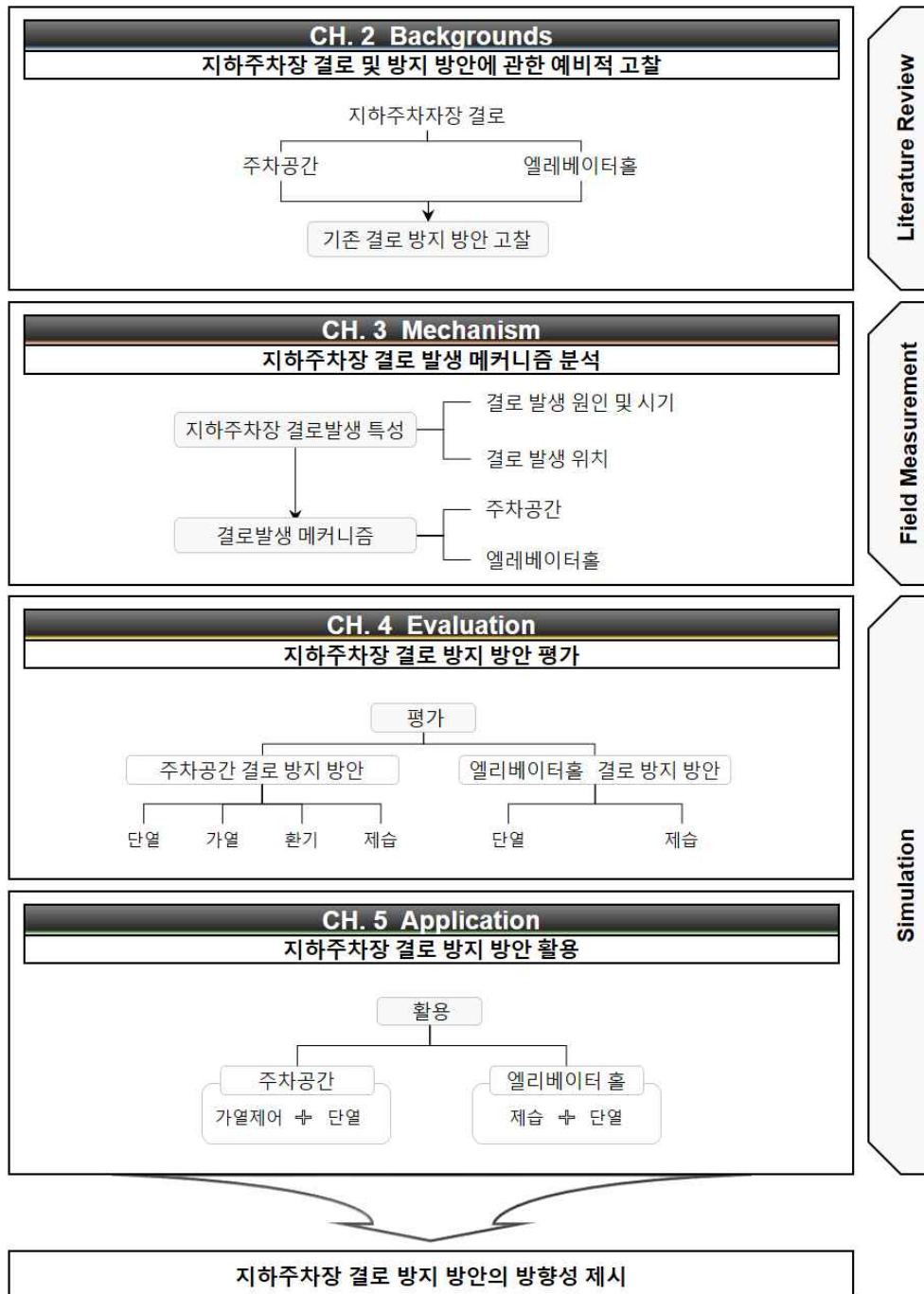
(3) 지하주차장 결로 방지 방안 평가

앞서 고찰한 지하주차장의 결로 방지 방안들 중 평가대상을 선정하였고, 주차공간 및 엘리베이터 홀의 결로 발생 메커니즘을 바탕으로 적용가능한 결로 방지 방안을 도출 및 분류하였다. 또한, 시뮬레이션을 통해 결로 발생 시간, 표면온도 및 노점온도 변화를 분석하여 결로 방지 성능을 평가하였다.

(4) 지하주차장 결로 방지 방안 활용

결로 방지 방안들을 조합하여 적용하거나, 제어를 통해 효과적으로 결로를 방지 방안을 제안하였다. 주차공간의 경우 가열제어와 함께 단열방안을 함께 적용하는 방안을 분석하였고, 엘리베이터 홀의 경우 제습장치와 단열방안을 조합하여 적용하는 방안을 분석하였다. 또한, 결로 방지 조합안들의 경제성 평가를 통해 적합한 결로방지 방안을 도출하였다.

본 연구의 절차 및 내용을 연구 흐름도로 나타내면 [그림 1.3]와 같다.



[그림 1.3] 연구흐름도

제 2 장 지하주차장 결로 방지 방안에 관한 예비적 고찰

2.1 개요

본 장에서는 지하주차장 결로 방지 방안에 관한 예비적 고찰로서 결로의 종류와 발생원리, 지하주차장 결로에 대해 고찰하였고, 기준 및 가이드라인, 연구 문헌 그리고 전문가 인터뷰를 통하여 지하주차장 결로 방지 방안을 파악하였다.

2.1.1 결로의 종류 및 발생 원리³⁾

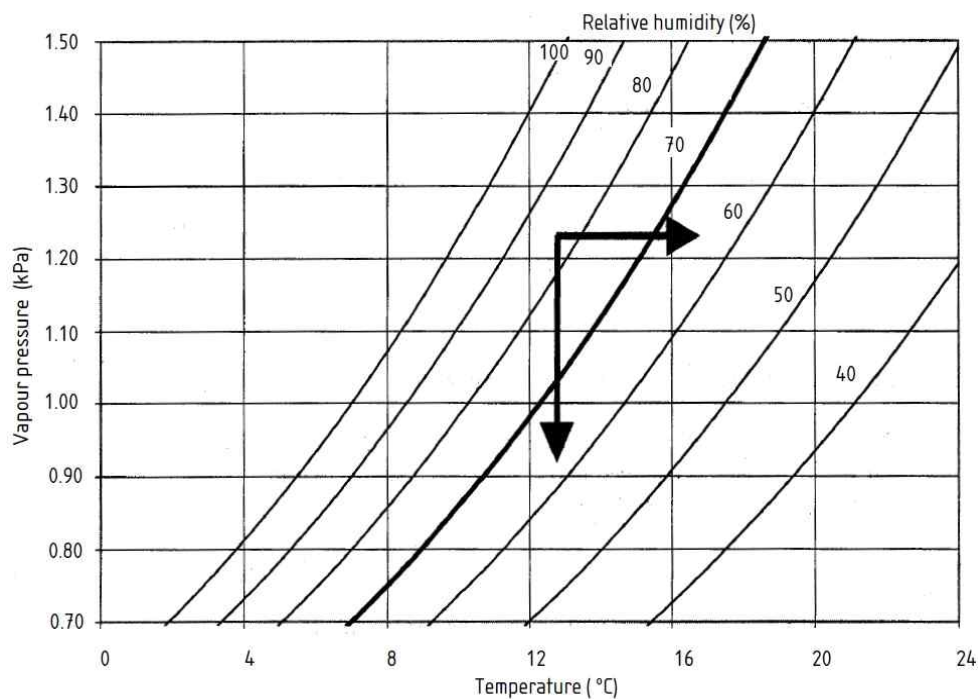
공기 온도에 따라 공기가 포함할 수 있는 수증기의 양이 존재하고, 따뜻한 공기일수록 포함할 수 있는 수증기의 양이 많아진다. 수증기를 포함하고 있는 공기가 차가운 표면에 접촉하게 되면 수증기가 포화상태가 되어 결로가 발생하게 된다. 이 때 수증기가 포화상태가 되는 온도를 노점온도라 한다. 공기가 포함하는 수증기는 수증기압으로 표현할 수 있고, 공기 중의 수증기 양이 많을수록 수증기압이 높다. 또한, 공기의 상태가 습한 정도는 상대습도로 표현한다.

[그림2.1]은 습공기선도에서 온도, 수증기압 그리고 상대습도의 관계를 나타낸다. 상대습도는 결로발생 위험성, 곰팡이 증식 그리고 재료의 흡·방습 특성에 영향을 미치는 인자이다. 오랜 기간 동안 공간의 상대습도가 70% 이상으로 유지되면 곰팡이 증식할 위험이 존재한다. 곰팡이는 증식에 필요한 영양분, 산소 그리고 적절한 온도와 습도 조건이 갖추어지면 발생하게 되는

3) British Standard, 2002, Code of practice for control of condensation in buildings, pp.5-9

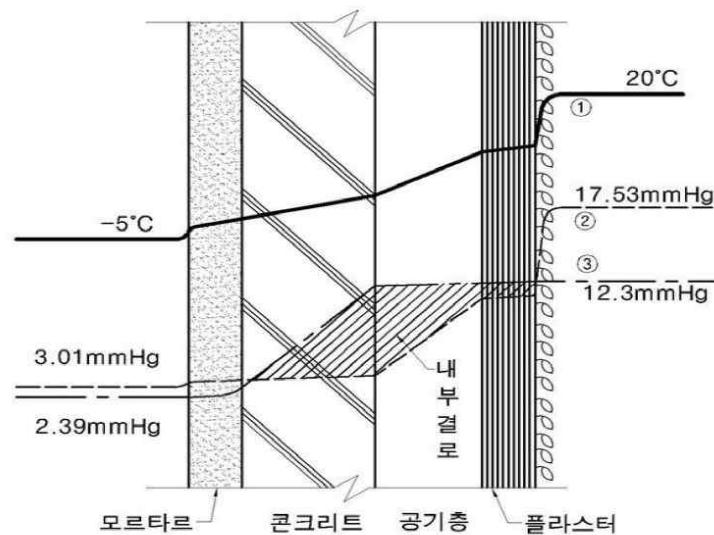
데, 증식에 필요한 영양분은 건물 전체에 퍼져있고, 건물의 실내 환경은 증식에 적합한 온도조건을 갖추고 있다. 또한, 산소는 모든 곳에 존재하는 요소이기 때문에 곰팡이 증식은 습도 조건과 일정 습도 조건하에서 얼마나 노출되었는지에 의해 결정된다.

결로는 대부분 응축수로 나타나거나, 곰팡이 성장, 나무, 철로 된 자재를 손상시키는 형태로 나타난다. 결로는 주로 단창으로 이루어진 침대방, 부엌 또는 화장실에서 발생하거나, 저온 건조한 날씨가 온난하고 습한 날씨로 바뀔 때 중량 바닥 구조체 공간 또는 조적조로 이루어진 계단, 복도에서 발생할 수 있다. 이 같은 곰팡이 증식 및 결로를 방지하기 위해서는 [그림 2.1]의 화살표방향과 같이 온도를 증가시키거나, 수증기압을 감소시켜야한다.



[그림 2.1] 공기의 온도, 수증기압 그리고 상대습도의 관계

결로는 표면에서 발생하는 표면결로와 구조체 내부에서 발생하는 내부결로로 구분할 수 있다. 표면결로는 수증기를 함유한 공기가 노점온도 이하의 표면온도에 접촉할 때 표면에서 수증기가 응축되어 물로 변하는 현상이다. 내부결로는 실내외의 수증기압차에 의해 구조체 내부를 이동하는 수증기가 노점온도 이하의 저온부분에서 수증기가 응축하여 물방울이 형성되는 현상이다.⁴⁾ [그림 2.2]는 실내외 온도차와 수증기 분압차가 날 때 벽체 열, 습기 물성치에 따라 그림과 같은 온도구배와 수증기분압 변화로 인해 표면결로와 내부결로가 발생하는 벽체이다. [그림 2.2]와 같이 벽체 내부 수증기압 ③이 포화수증기압 ② 보다 높아져 내부결로가 발생하게 된다. 또한, 표면에서도 포화수증기압 ② 보다 표면의 수증기압 ③이 높아 표면결로가 발생한다. 표면결로는 공간의 수증기가 노점온도보다 낮은 표면에 닿아 발생하기 때문에



[그림 2.2] 표면결로 및 내부결로가 발생하는 벽체⁵⁾

4) 박지훈, 2000, 건물 지하층 결로방지를 위한 공법개발과 성능평가에 관한 연구, 서울대학교

5) 장상목, 2015, 지하구조물 외방수공법의 결로 환경 영향에 관한 연구, 서울과학기술대학교

이를 방지하기 위해 실내 쪽에 단열재를 설치하여 표면온도가 공간의 노점 온도보다 높은 상태를 유지해야한다. 또한, 내부결로를 방지하기 위해 실제 설계 시에는 투습저항과 열전도율을 곱한 값이 큰 재료부터 실내측 방향에서 외기측 방향으로 순차적으로 배열시켜야한다.⁶⁾

2.1.2 지하주차장 결로

지하주차장의 결로는 동절기에 발생하는 일반적인 결로와 달리 하절기에 습한 외기와 지중의 영향으로 낮아진 구조체 표면온도에 의해 발생한다. 따라서 지중에 면한 주차공간 또는 엘리베이터 홀에서 결로가 발생한다. [그림 2.3]은 하절기에 주차공간의 바닥과 엘리베이터 홀의 벽체 및 바닥에 발생한 결로 사례이다. 지하주차장의 결로는 깊이가 깊어질수록 결로 발생 위험이 높아진다. 특히, 최하층의 벽체와 바닥은 지중의 영향을 받기 때문에 상대적으로 표면온도가 낮아 결로 발생위험이 높다. 이처럼 지하주차장의



[그림 2.3] 지하주차장 결로 사례

6) 박지훈. op. cit.

결로는 대부분 하절기에 발생하며, 공동주택 입주 첫 해의 경우 결로가 심하게 발생하는 사례가 존재한다. 신축 공동주택의 경우 콘크리트가 건조하지 않아 결로가 발생할 수 있는데, 일반적으로 건축물의 준공직후 사용자재의 함수율이 높기 때문에 준공 첫해에 특히 결로의 발생률이 높다.⁷⁾⁸⁾

2.2 지하주차장 결로 방지 방안 고찰

지하주차장에서 결로가 발생하는 공간은 주차공간과 엘리베이터 홀이다. 공간의 특성상 각 공간에 적용되는 결로 방지 방안이 다르기 때문에 두 공간으로 나누어 결로 방지방안을 고찰하였다. 가이드라인, 문헌 조사 그리고 전문가 인터뷰를 통해 현재 적용되고 있는 결로 방지 방안을 확인하였다.

2.2.1 주차공간 결로 방지 방안

주차공간은 차량의 주차를 목적으로 만들어진 공간이다. 따라서 차량에서 배출되는 가스를 제거하기 위해 환기시스템이 설치되고, 차량의 진입 및 인동을 위한 램프와 바닥의 구조 성능 확보가 필요하다. 이러한 공간의 특성을 고려하여 다양한 결로 방지 방안들이 적용되고 있다.

(1) 단열재

이승복⁹⁾은 주차공간의 결로 방지를 위하여 단열 및 환기량에 대한 설계 기준을 제안하였다. 단열몰탈, 스티로폼 등 단열성능을 갖춘 재료들과 기존

7) Ibid.

8) 국토교통부, op. cit.

9) 이승복 외, 2002, 지하공간의 결로방지를 위한 설계기법 및 기준에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 18(1), pp.249-258

콘크리트와의 조합을 통해 벽체, 바닥에 대한 레이어 구성을 제시하였고, 제시한 구조체와 환기량을 변화시키면서 연중 결로 발생기간을 분석하였다. 연중 결로 발생기간을 3%이하로 낮출 수 있는 구조체 레이어 구성과 환기량을 제안하였다.

P Pfrommer¹⁰⁾은 지하주차장 주요 구조체 부위에 단열재를 설치하는 방안을 제안하였고, 단열재 설치 부위에 따라 달라지는 결로 발생 시간을 분석하였다. 천장, 벽체 그리고 바닥에 단열재 설치와 지하1층 상부에 토양의 두께에 따라 결로 발생시간 따른 결로 발생 시간을 분석하였다.

서용원¹¹⁾은 열적특성을 고려한 단열배수판 공법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 단열배수판 공법이 기존 공법보다 높은 단열성능을 검증하였고, 이 공법을 통해 결로를 저감할 수 있다고 서술하였다.

황민규¹²⁾는 주차공간과 같은 지하공간을 위한 적합한 단열재를 선정하고 그 특성에 대한 설계 기준을 제안하였다. 주차공간은 공간의 크기가 크고 램프, 드라이에어리어, 채광창 등을 통해서 무한한 습기가 유입되기 때문에 설비 시스템을 통해 습도를 낮추는 방안보다 단열보강이 합리적인 방지 방안이라 서술하였다. 그러나 주차공간 환경에 적합한 단열재는 단열성능뿐만 아니라 차수성능을 확보되어야하며, 이는 수분 흡수에 따른 단열성능의 저하가 발생하기 때문에 지하공간에 단열재를 적용할 시에는 이 같은 부분을 고려하여 적용하여야 한다고 서술하였다.

10) P Pfrommer. et al., 2005, Coupled simulations for hygrothermal investigation of subterranean car parks and similar spaces, Building Serv. Eng. Res. Technology. 26,1 pp.11-33

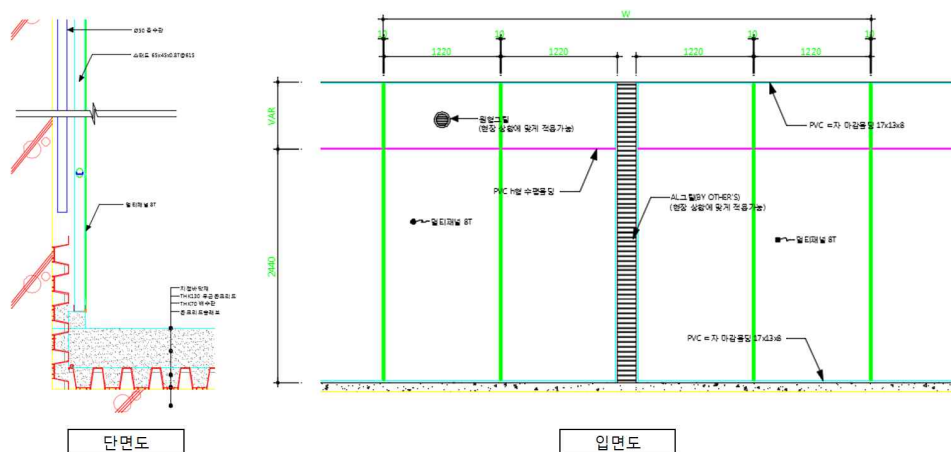
11) 서용원, op. cit.

12) 황민규 외, 2013, 건축물의 지하공간을 위한 단열재의 특성 분석 및 설계 기준 수립, 한국생태환경건축학회 논문집, 13(2), pp.107-112

(2) 이중벽

이중벽은 최근 지어지는 대부분의 지하주차장에 적용되는 결로 방지 방안이다. 이중벽은 지중에 면한 구조벽체에 생긴 결로를 가리고, 구조벽체의 결로를 유도하는 역할을 수행한다.¹³⁾ [그림 2.4]는 지하주차장에 적용된 이중벽의 단면도와 입면도이다. 일반적으로 실내측 벽은 그림과 같이 경량패널 또는 콘크리트 블록으로 구성되며, 지중에 면한 콘크리트와 경량벽체 사이에 중공층이 형성되도록 시공된다.

김종엽¹⁴⁾은 토양에 면하는 벽체 부위에 결로를 방지하기 위해 이중벽을 제안하였다. 이중벽 내부의 공기층 적용 유무 그리고 콘크리트 블록 또는 단열재를 적용 케이스에 대해 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과 이중벽 설치를 통해 결로를 방지할 수 있다고 서술하였다.



[그림 2.4] 주차공간 이중벽 단면도 및 입면도

13) 정창현 외, 2016, 공동주택 지하주차장 유공벽의 표면결로방지 기법 검토, 대한건축학회 논문집, 32(10), pp.79-86

14) 김종엽 외, 2014, 공동주택 결로 종합대책 방안 연구. 토지주택 연구원, pp.203-206

오길환¹⁵⁾은 벽체에 적용되고 있는 결로 방지 공법을 크게 단열재 설치 유무와, 표면 마감재 종류로 구분할 수 있고 이 공법들에 대한 결로 발생 유무를 평가하였다. 단열재 두께, 레이어 두께에 따라 결로 발생이 달라질 수 있지만, 단열재가 설치된 벽체에서 결로가 발생하지 않았다고 서술하였다.

정창현¹⁶⁾은 이중벽 설치를 통해 결로를 방지하는 방안을 제안하였다. 이중벽 설치를 통해 결로 저감 효과를 분석하였으며, 이중벽의 개구부를 뚫어서 주차공간의 공기가 유입되도록 하여 결로 저감 효과를 향상시키는 방안을 제안하였다. 또한, 이중벽 자체만 적용하는 것보다 환기량을 증가시켜 결로를 방지하는 것이 더 효과적이라고 서술하였다.

(3) 외방수

장상묵¹⁷⁾은 주차공간의 결로 방지를 위하여 외방수공법을 제안하였다. 시험체를 제작하여 외방수와 내방수에 따른 온습도 변화를 분석하였으며, 실험을 통하여 외방수 공법을 적용하면 기존의 누수 및 결로 문제를 효과적으로 해결할 수 있다고 서술하였다. 또한, 외방수 적용을 바닥부분까지 포함하는 방식(Full Tanking System)이 결로 방지에 효과적이라고 서술하였다.

(4) 환기팬

환기팬은 주차공간에 실내공기질 개선을 주목적으로 설치되나 공간의 습기를 배출하거나, 상대적으로 높은 온도의 외기를 도입하여 표면온도를 상승시키기 때문에 결로를 방지하는 목적으로도 활용되고 있다. 환기방안은

15) 오길환 외, 2007, 공동주택 지하주차장의 壁體表面結露防止를 위한 적정 공법 선정에 관한 연구, 한국건축시공학회 추계 학술논문 발표대회 논문집, 7(2), pp.101-104.

16) 정창현 외, op. cit.

17) 장상묵, op. cit.

결로 방지를 위해 적용되는 방안들 중 가장 많이 사용되고 있다.¹⁸⁾

정창헌¹⁹⁾은 환기량을 증가시키는 방안을 통해 지하주차장의 결로를 방지하는 방안을 제안하였다. 환기량을 증가시킴에 따라 표면온도가 상승하여 결로 방지 할 수 있고, 최적 환기량 설정이 필요하다고 서술하였다.

정창헌²⁰⁾은 일반적으로 설치되는 이중벽체 중공층의 내부를 환기시켜 결로를 방지하는 효과를 분석하였다. 주차공간 전체를 제습시키는 것은 비효율적이므로 이중벽체 중공층을 환기시켜 환기용량을 최소화하고, 벽체의 표면온도를 상승시켜 결로를 방지하는 방안으로 제안하였다.

P Pfrommer²¹⁾은 환기제어를 통해 결로를 저감하는 방안을 제안하였다. 환기량 증가에 따른 결로 방지효과 아니라 환기제어를 통하여 결로 방지효과에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 제어는 실내 온도가 특정 온도 이하일 때 또는 실외 온도가 실내보다 높을 때의 조건에서 환기량을 주었을 때의 결로 방지효과를 분석하였다.

(5) 조습성능 마감재

홍석진²²⁾은 주차공간의 결로 방지를 위하여 조습성능을 지닌 마감재를 통해 결로를 방지하는 방안을 제안하였다. 콘크리트 조습성능에 의해 결로를 지연시킬 수 있다고 서술하였다.

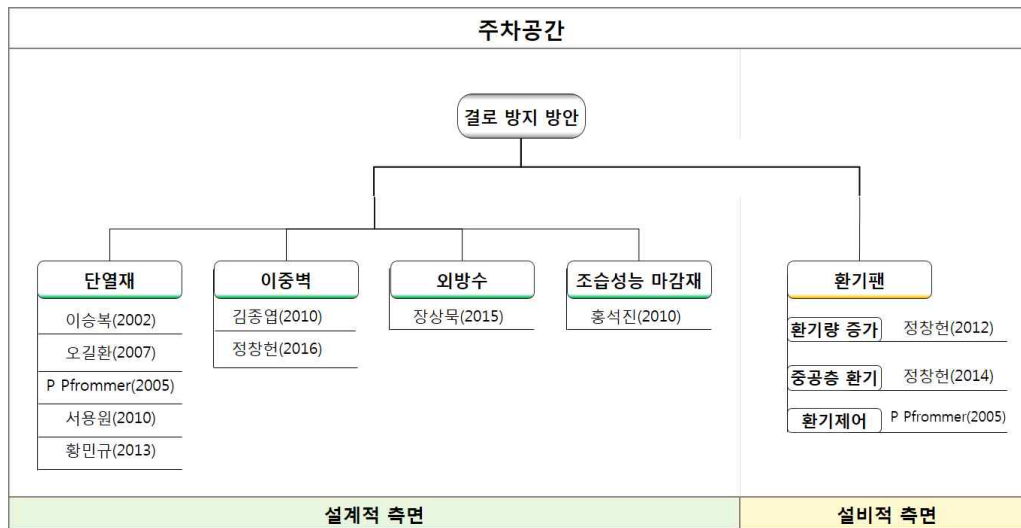
18) 이현정 외, 2010, 공동주택 지하 공간의 표면결로 발생 현황에 관한 연구, 한국생태환경건축학회, 10(2), pp313-316

19) 정창헌, 2012, 지하주차장 환기량에 따른 벽체표면온도의 변화, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 32(2), pp.345-346

20) 정창헌, 2014, 시뮬레이션을 이용한 지하주차장 이중벽체 중공층 환기에 의한 표면결로 발생시간 감소 가능성 분석, 대한건축학회지회연합회 논문집, 16(5), pp.223-230

21) P Pfrommer. et al., op. cit.

22) 홍석진, 2010, 공동주택 지하주차장 결로 방지 방안, 한국건축친환경설비학회 논문집, 4(3), pp.157-164



[그림 2.5] 주차공간 결로 방지 방안

현재 주차공간에 적용되고 있는 결로방지 방안은 [그림 2.5]와 같다.

2.2.2 엘리베이터 홀 결로 방지 방안

엘리베이터 홀은 주차공간과 달리 규모가 비교적 작고, 입주민이 엘리베이터를 타기 위해 이동 및 대기하는 공간이다. 따라서 엘리베이터 공간에 적용되는 결로 방지 방안은 주차공간에 적용되는 동일한 방안이 적용되기도 하지만 제습기, 에어컨과 같은 습기를 제거하는 방안도 적용되고 있다.

(1) 단열재

이미연²³⁾은 엘리베이터 홀에 단열재 적용에 따른 결로 저감 효과를 분석하였다. 엘리베이터 홀에 단열재를 적용한 뒤 시뮬레이션과 모니터링을 통

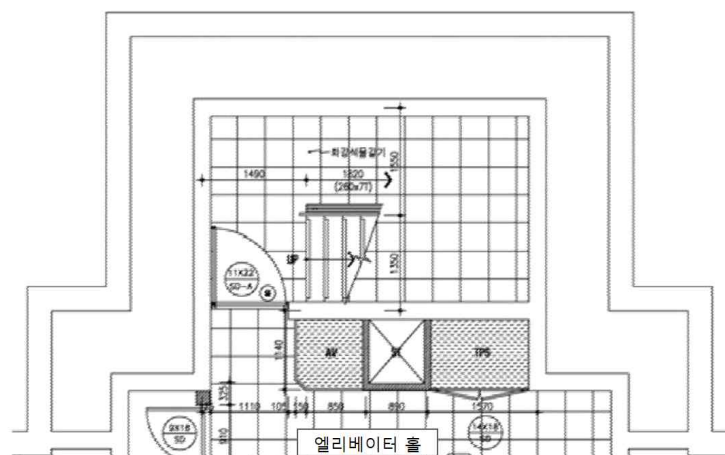
23) 이미연 외, 2009, 공동주택 지하층 공용부위에 단열재 적용에 따른 결로 저감효과 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 30(6), pp.255-262

해 결로 저감 효과를 분석하였다. 그 결과 단열재 적용을 통해 지중에 면한 벽체와 면하지 않은 벽체 모두 온도가 상승하였고, 지중에 면한 벽체는 2℃ 이상 상승하여 단열재 적용이 결로 방지에 효과적이라고 서술하였다.

SH공사 도시연구소²⁴⁾는 엘리베이터 홀 벽체 및 바닥에 단열재를 설치하여 결로를 저감할 수 있고, 단열재 적용은 제습, 환기와 같은 설비시스템보다 초기투자비용은 비싸지만 총 소요비용이 가장 저렴하다고 서술하였다.

(2) 이중벽

김종엽²⁵⁾은 엘리베이터 홀 및 계단실에 이중벽을 설치하여 결로를 방지 효과를 시뮬레이션을 통해 분석하였고, 그 결과 이중벽을 통해 결로를 방지할 수 있다고 서술하였다. 이중벽은 [그림 2.6]과 같이 엘리베이터홀 및 계단실이 지중에 직접적으로 면하지 않도록 설계된다.



[그림 2.6] 엘리베이터 홀의 이중벽²⁶⁾

24) SH공사, 2013, 공동주택 공용부위 결로 저감방안에 관한 연구, pp.58-68

25) 김종엽 외, op. cit., pp.209-210

26) Ibid.

(3) 드라이에어리어

건설사에서는 결로 방지를 위하여 단열재 설치, 이중벽 설치뿐만 아니라 드라이에어리어를 설치하는 방안을 적용하고 있는 것을 확인할 수 있다. 건설사별 엘리베이터 홀 단열 설계지침은 <표 2.1>과 같다.

(4) 제습기 및 에어컨

홍석진²⁷⁾은 엘리베이터홀 및 계단실에 제습기를 설치하는 방안을 제안하였다. 제습기를 설치한 계단실과 제습기를 설치하지 않은 계단실에 온습도를 분석하였고, 실측결과 결로가 저감되는 것을 확인하였다고 서술하였다. 또한, SH공사 도시연구소²⁸⁾는 결로가 발생한 공간에 제습기를 설치를 통

<표 2.1> 건설사별 엘리베이터 홀 결로 방지 설계지침

건설사	엘리베이터 홀 설계지침
A사	-외벽방수 -단열재 설치
B사	-지반에 면하지 않게 설계하거나, 면할 경우 드라이에어리어 또는 이중벽 설치
C사	-단열재 설치
D사	-외단열 설계 -마감재 변경 -결로수 배수
E사	-흡과 접하는 경우 50mm 단열재
F사	-이중벽을 설치하거나 드라이에어리어 설치 -드라이에어리어 불가할 경우 외단열 설치
G사	-외단열설치
H사	-30mm 외단열 설치 -바닥 압출법 보온판 설치

27) 홍석진, op. cit.

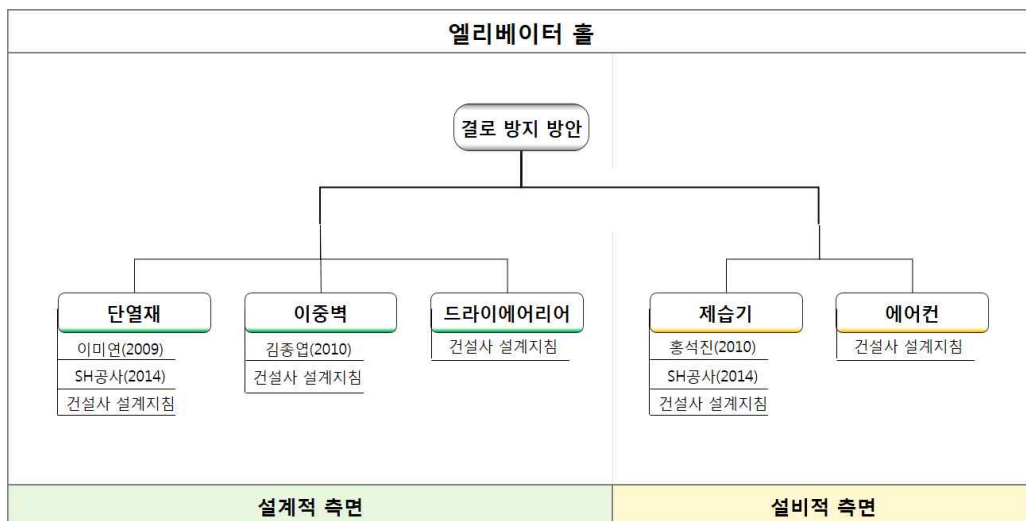
28) SH공사, op. cit., pp.75-81

〈표 2.2〉 건설사별 엘리베이터 홀 결로 방지 설비 설계지침

건설사	엘리베이터 홀 설비설계 지침
A사	-제습기설치
B사	-제습기설치
C사	-제습기설치
D사	-제습기설치 및 급기덕트 시공
E사	-제습기설치 (지중과 면한 엘리베이터홀)
F사	-에어컨설치 (지중과 면한 엘리베이터홀)
G사	-제습기설치
H사	-제습기설치 (최하층 엘리베이터 홀에만 적용)

해 기존대비 90% 이상 결로를 저감할 수 있다고 서술하였다. 이 같은 제습기의 결로방지 효과로 현재 대부분 건설사에서 적용하고 있으며 건설사별 엘리베이터 홀 설비 설계지침은 〈표 2.2〉와 같다.

현재 엘리베이터 홀에 적용되고 있는 결로 방지 방안은 [그림 2.7]과 같다.



[그림 2.7] 엘리베이터 홀 결로 방지 방안

2.3 소결

본 장에서는 현재 적용되고 있는 지하주차장의 결로 방지 방안을 고찰하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

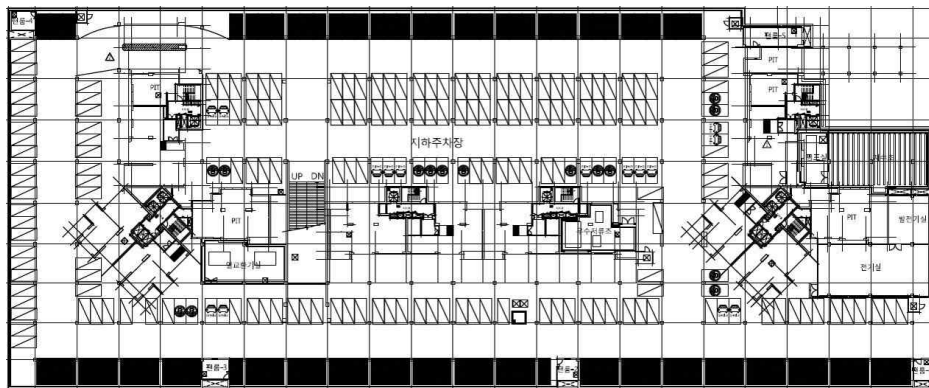
- 1) 주차공간의 결로 방지를 위해 단열재, 이중벽, 외방수와 같은 구조체의 단열성능을 향상시키는 방안들을 적용하거나 환기팬을 가동하는 방안을 적용하고 있다는 것을 확인하였다. 또한, 조습성능 마감재를 통해 습기를 제거하여 결로를 방지하는 방안도 확인하였다.
- 2) 엘리베이터 홀에 적용되는 결로 방지 방안은 단열재, 이중벽 그리고 드 라이에어리어를 설치하여 지중에 직접적으로 면하지 않게 설계하는 방안 등이 적용되고 있다는 것을 확인하였다. 또한, 제습기, 에어컨과 같은 제습시스템을 적용하여 결로를 방지하고 있다는 것을 확인하였다.

결로를 방지하기 위해 다양한 방안들이 적용하고 있다. 주차공간과 엘리베이터 홀에는 단열성능을 향상시켜 지중으로부터 빠져나가는 열을 줄여 결로를 방지하는 방안이 적용되고 있다는 것을 확인하였다. 또한, 주차공간의 경우 환기시스템을 이용하여 결로를 방지하는 것과는 달리 엘리베이터 홀의 경우 제습시스템을 적용하여 결로를 방지하고 있는 것을 확인하였다.

제 3 장 지하주차장 결로 발생 메커니즘 분석

3.1 개요

본 장에서는 지하주차장 결로 발생 메커니즘을 분석하기 위해 기상데이터, 실측을 통해 결로 발생 시기 및 위치를 분석하였고, 결로가 발생가능성이 높은 시기에 어떠한 메커니즘으로 지하주차장에서 결로가 발생하는지 주차공간과 엘리베이터 홀로 나누어 분석하였다. 실측 대상지인 지하주차장은



[그림 3.1] 지하주차장 평면도

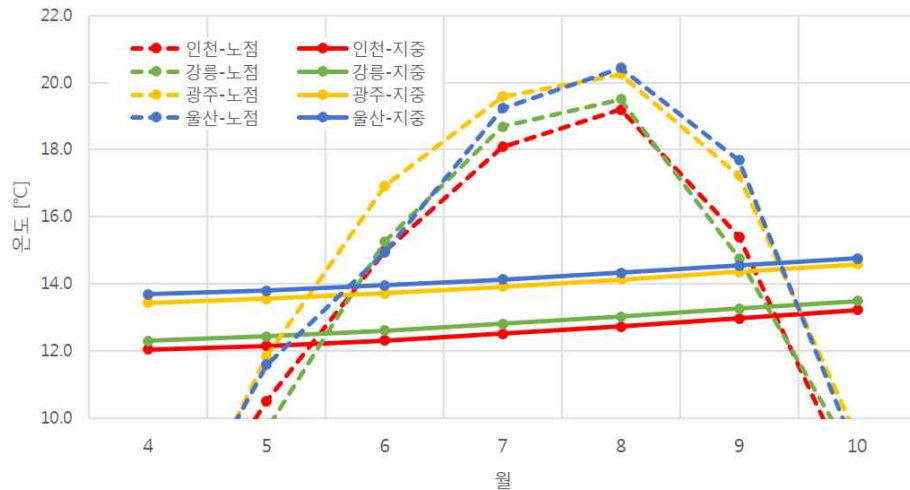
<표 3.1> 지하주차장 관련정보

지하주차장	
위치	인천시 연수구
전체 층	B2 ~ B1
바닥면적	12,674 m ²
부피	43,092 m ³
적용된 결로방지 방안	이중벽

2015년도에 준공 되었으며 공간의 평면은 [그림 3.1]과 같고 공간의 정보는 <표 3.1>과 같다. 실측은 준공년도 하절기와 1년이 지난 하절기에 진행하였으며 온·습도 및 표면온도 측정하였다.

3.1.1 지하주차장 결로 발생 시기

지하주차장의 결로 발생은 앞서 기술한바와 같이 낮은 지중온도와 하절기 습한 외기로 인하여 발생한다. [그림 3.2]는 인천, 강릉, 광주, 울산의 지역의 노점온도와 각 지역의 지중온도 변화 그래프이다. 노점온도는 각 지역의 2015년 기상데이터를 활용하였으며, 지중온도는 Xing 모델²⁹⁾에서 제공한 지역별 지중온도 데이터(지중깊이: 5m)를 활용하였다. 지하주차장 구조체 단열 성능, 내부발열 등에 의해서 발생 시기는 다소 차이가 있지만 지중온도가 노점온도보다 낮은 기간을 결로 발생 위험시기로 가정하면 5월부터 9월까지

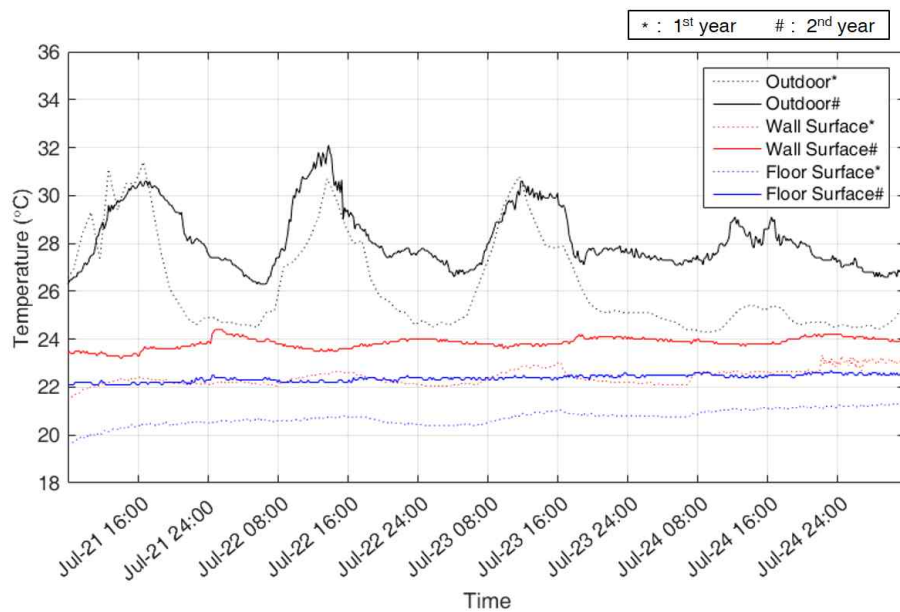


[그림 3.2] 지역별 지중온도 및 노점온도 변화

29) Lu Xing, 2008, Estimations of Undisturbed Ground Temperatures using Numerical and Analytical Modeling, Oklahoma State University.

결로 발생 가능성이 존재하는 것을 확인 할 수 있다. 인천, 강릉지역 같은 경우 낮은 지중온도로 5월 말부터 결로가 발생하는 것을 확인할 수 있고, 광주지역의 경우, 지중온도는 상대적으로 높지만 습한 외기조건으로 인하여 5월부터 결로 발생 위험이 존재하는 것으로 나타났다.

일반적으로 하절기에 결로 발생 위험이 높지만, 입주 후 주차공간과 엘리베이터 홀의 결로 발생 경향이 달라진다. 주차공간 결로 현상은 준공 2~3년 후에는 사라지는 것으로 알려져 있고,³⁰⁾ 엘리베이터 홀의 경우 주차공간 보다는 결로 현상이 더 오랜 기간 지속되는 것으로 알려져 있다.³¹⁾ 주차공간의 결로 발생 경향을 확인하기 위하여 준공이 완료된 직후와 입주 후의 표면온도를 측정하였다. 벽체 및 바닥의 표면온도를 측정하였고, 측정결과 입



[그림 3.3] 입주에 따른 구조체 표면온도 변화 비교

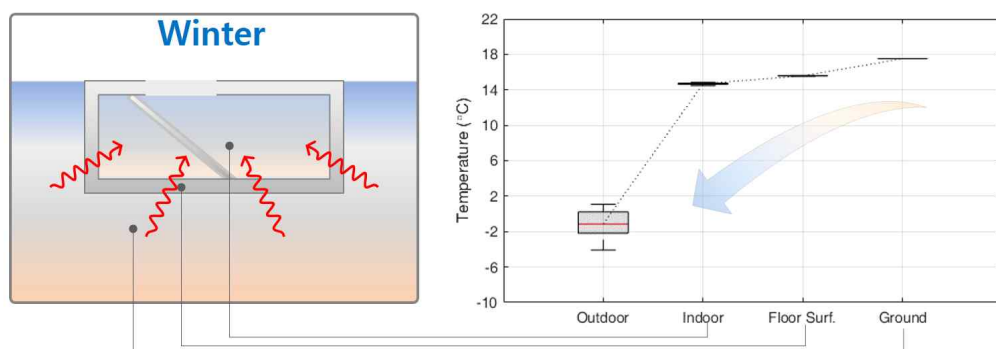
30) 김종엽 외, op. cit., p.181

31) 이현정 외, op. cit.

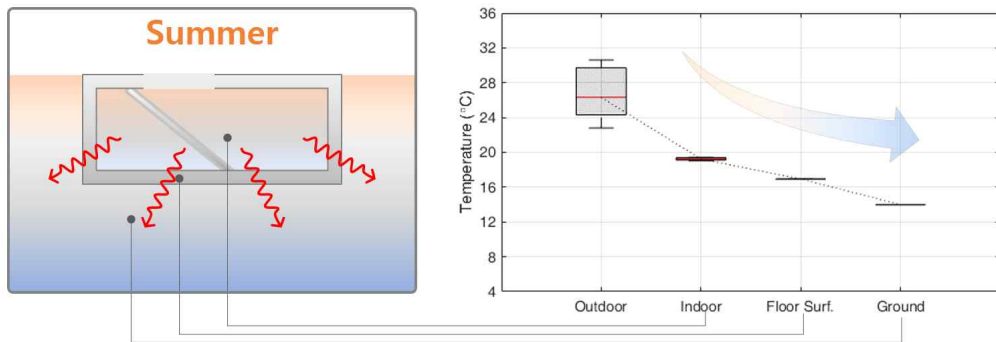
주 후 벽체 및 바닥의 표면온도는 약 2 ℃ 상승하는 것으로 나타났다[그림 3.3]. 입주 후에는 차량의 발열 및 기계실 등의 내부발열로 인하여 구조체 표면온도가 상승한 것으로 판단된다. 따라서 주차공간은 입주 후 결로 발생이 감소하는 경향을 띄므로 준공 초기에 초점을 맞추어 결로 방지 방안이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

3.1.2 지하주차장 결로 발생 위치

지하주차장 결로 발생이 지하주차장의 어느 위치에서 주로 발생하는지, 결로가 발생한다면 국부적으로 발생하는지 전체 공간에 발생하는지 파악할 필요가 있다. 지하주차장 결로 발생 위치를 파악하기 위해 지하주차장의 계절별 열류의 흐름을 분석하였다. 분석을 위해 기상청에서 제공하는 2015년도 기상데이터를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 하절기와 동절기의 외기, 지하주차장 최하층 공간의 온도, 바닥 표면온도 그리고 지중의 온도를 분석한 결과, 동절기에는 지중으로부터 열을 획득하는 형태이고[그림 3.4], 이와 달리 하절기에는 지중으로부터 열이 빠져나가는 방향으로 열류흐름이

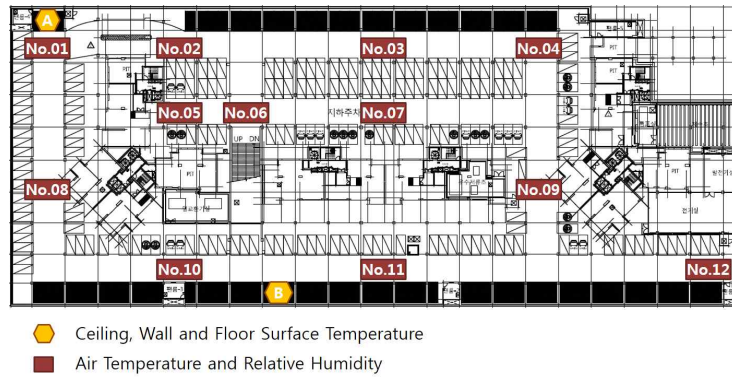


[그림 3.4] 동절기 열류의 흐름과 외기, 공간, 바닥표면 및 지중의 온도

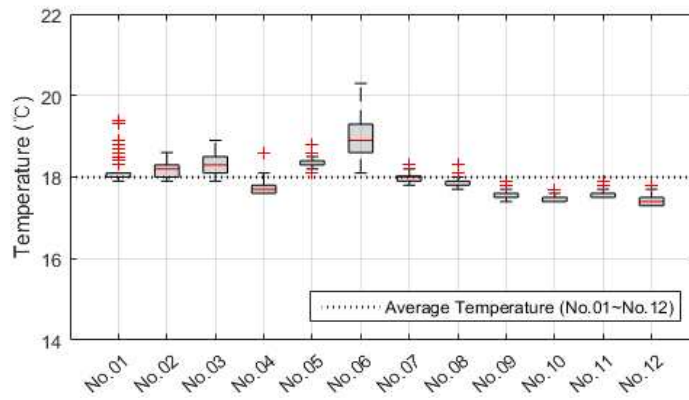


[그림 3.5] 하절기 열류의 흐름과 외기, 공간, 바닥표면 및 지중의 온도

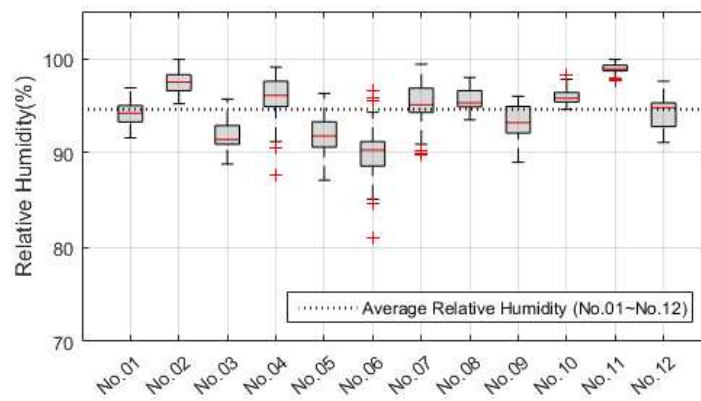
형성되는 것으로 나타났다[그림 3.5]. 따라서 하절기에 발생하는 지하주차장의 결로는 중간층보다 최하층이 결로 발생 가능성 크고, 바닥의 표면온도가 벽체, 천장보다 낮아 바닥의 결로 발생 가능성이 클 것으로 판단된다. 따라서 결로 발생 위험이 높은 최하층의 결로 발생이 국부적으로 발생하는지, 전체에서 발생하는지를 확인하기 위하여 하절기 특정 날의 지하주차장의 온·습도를 측정하였고, 측정위치는 [그림 3.6]과 같다. 측정결과, 측정위치의 평균 온도는 약 18.0 °C 이다. [그림 3.7]에서 확인할 수 있듯이 램프 근처에 설치된 No.6 를 제외하고 모두 평균값과 가깝게 나타났으며, 변화 폭도 크지 않은 것을 확인할 수 있다. 상대습도는 [그림 3.8]과 같이 램프 근처인 No.6의 측정 위치가 다른 위치보다 상대적으로 낮게 나타났으나, 전체 평균은 약 94.6 %로 공간 전체가 100%에 가까운 상태인 것을 확인할 수 있다. 램프 근처를 제외한 전체 측정 위치에서의 온도와 상대습도는 큰 차이가 나지 않는 것으로 나타났기 때문에 결로 발생 위험은 특정 공간에 한정되어 발생하는 것이 아니라 공간 전체에서 결로가 발생위험이 존재할 것으로 판단된다.



[그림 3.6] 지하주차장 온습도 및 표면온도 측정 위치



[그림 3.7] 지하주차장 측정 위치별 온도



[그림 3.8] 지하주차장 측정 위치별 상대습도

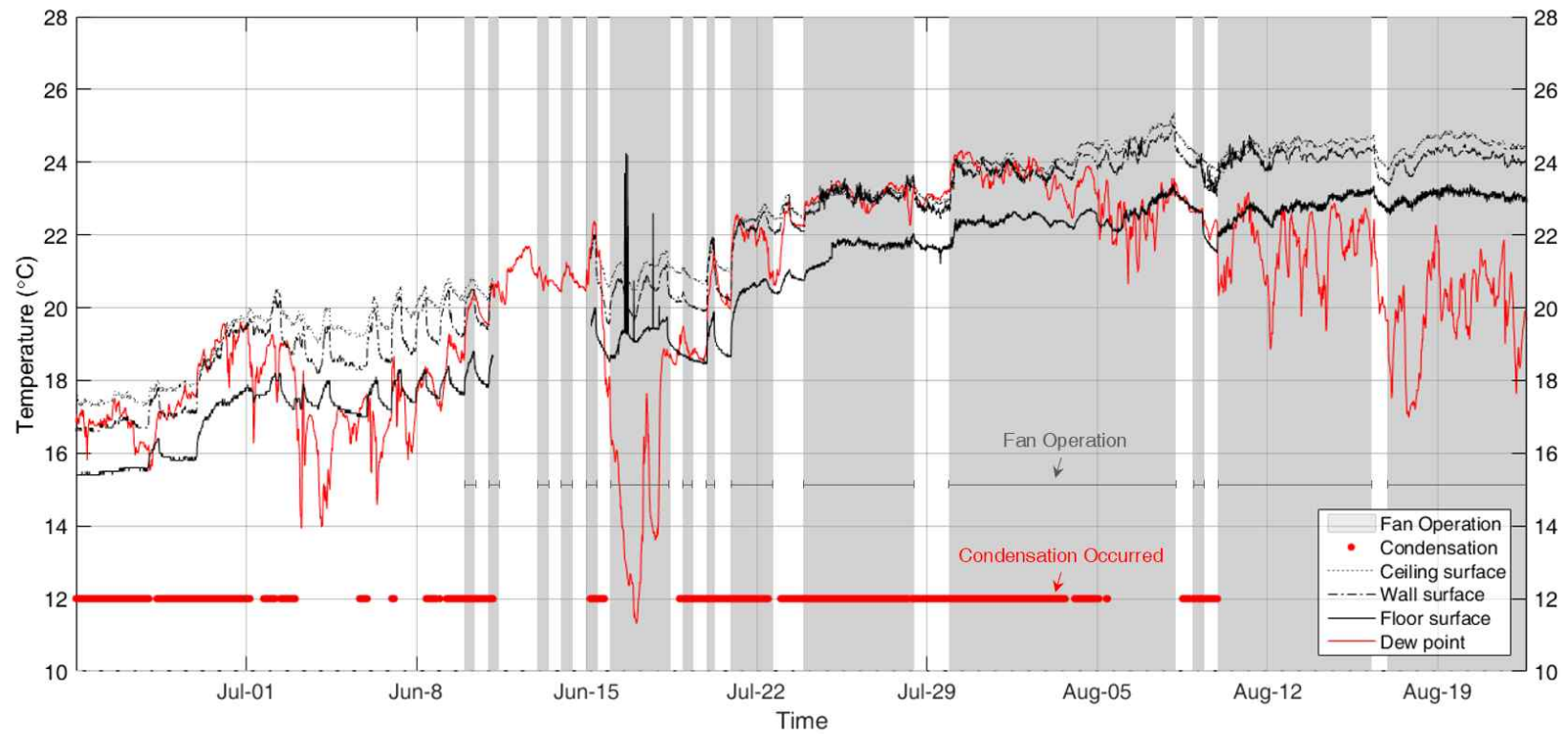
3.2 지하주차장 결로 발생 메커니즘

3.2.1 주차공간 결로 발생 메커니즘

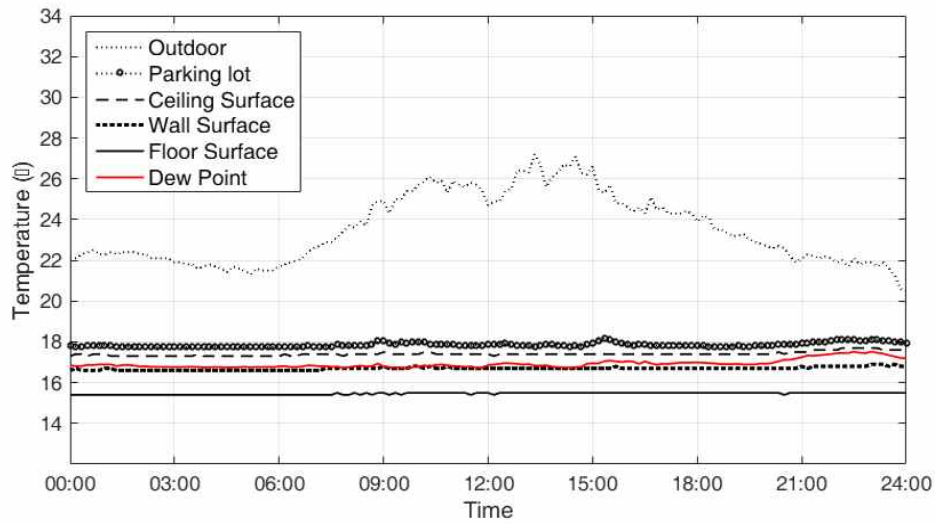
주차공간의 결로 발생 메커니즘을 분석하기 위하여 결로 발생 가능성이 높은 하절기의 실측을 진행하였다. [그림 3.9]는 하절기 천장, 벽체 그리고 바닥의 표면온도와 공간의 노점온도 변화이다. 표면온도는 천장, 벽체, 바닥 순으로 낮게 나타났고, 결로가 발생하는 기간의 바닥의 표면온도와 노점온도의 차이는 최대 3 °C 차이가 나는 것으로 나타났으며, 공간의 노점온도 변화에 비해 표면온도의 변화는 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 또한, 본 연구대상지에서는 결로방지를 위해 팬을 가동하였지만 팬 가동에도 불구하고 결로가 발생한 기간이 존재하는 것으로 나타났다.

주차공간의 결로가 발생한 날의 외기와 주차공간의 평균온도변화는 [그림 3.10]과 같고, 습도변화는 [그림 3.11]과 같다. 주차공간의 평균온도는 외기와 온도차가 크고 구조체 표면온도와 온도차가 작은 것으로 보아 지중의 영향을 더 크게 받는 것으로 판단된다. 따라서 외기온도 변화에도 불구하고 주차공간의 평균온도 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

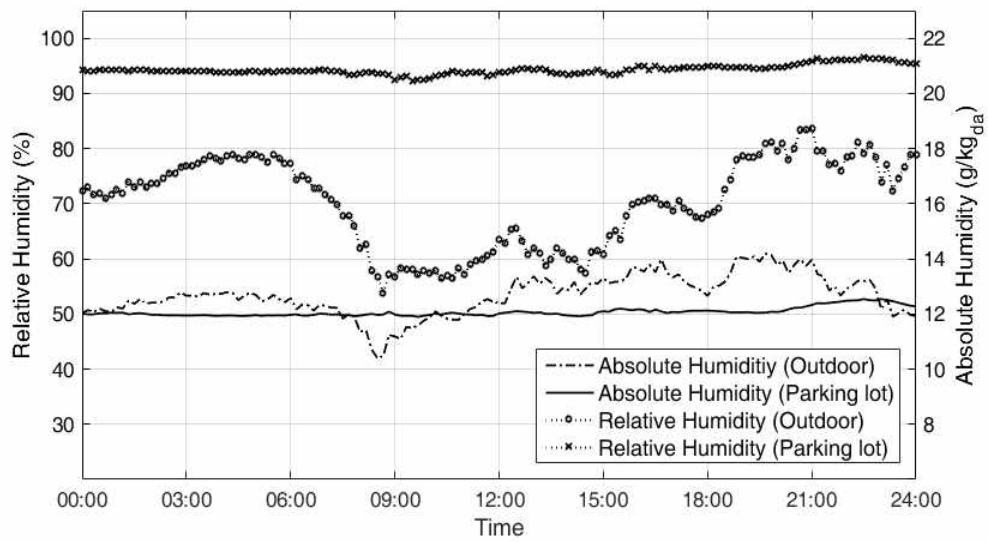
주차공간의 상대습도의 경우 90 % 이상으로 나타난 것으로 보아 결로 발생위험이 큰 것으로 판단된다. 절대습도의 경우 외기 절대습도 변화에도 불구하고 거의 변화가 없는 것을 확인할 수 있다. 그러나 주차공간의 절대습도는 외기 절대습도와 거의 같은 수준의 값을 형성하기 때문에 주차공간의 습기의 주원인은 외기인 것으로 판단된다. 따라서 외기의 온도변화에도 주차공간의 공간의 온도나 구조체의 표면온도는 지중의 영향으로 거의 변화가 없지만, 습도는 외기의 영향이 큰 것으로 판단된다.



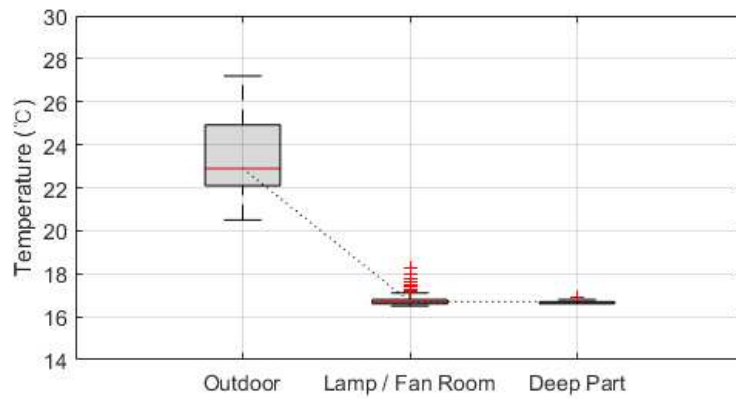
[그림 3.9] 주차공간의 표면온도 및 노점온도 변화



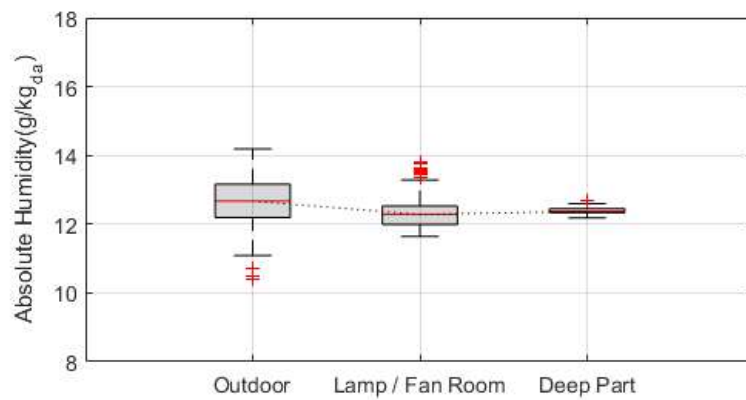
[그림 3.10] 외기온도와 주차공간의 공간, 표면 및 노점온도 변화



[그림 3.11] 외기, 주차공간의 절대습도 및 상대습도 변화



[그림 3.12] 외기온도 및 램프, 심부의 표면온도



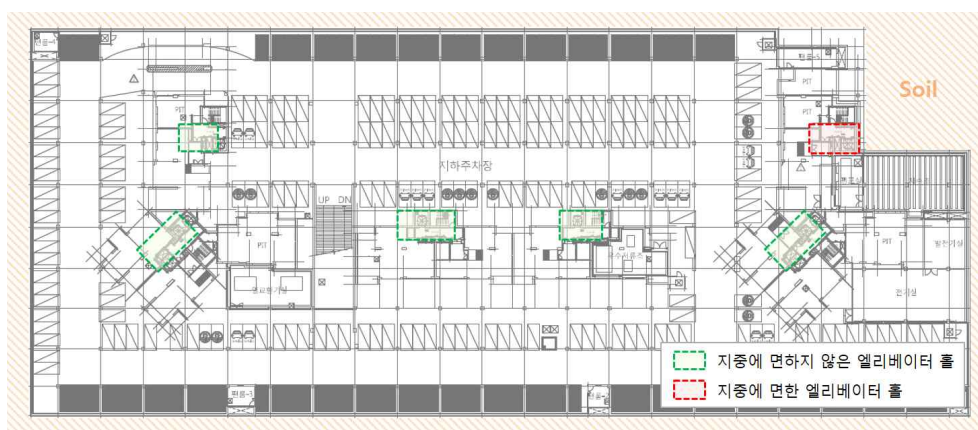
[그림 3.13] 외기절대습도 및 램프, 심부 위치의 절대습도

[그림 3.12]는 외기온도, 램프 및 팬룸의 근처의 표면온도와 심부지역의 표면온도 일변화이다. 외기온도의 변화에도 불구하고 표면온도는 램프의 위치에서나 심부의 위치에서나 거의 변화가 없는 상태이다. 상대적으로 심부지역보다 외기의 영향이 클 것으로 예상되는 램프 및 팬룸에서 심부지역과 거의 비슷한 수준의 표면온도 값을 나타낸다. 따라서 주차공간의 모든 구조

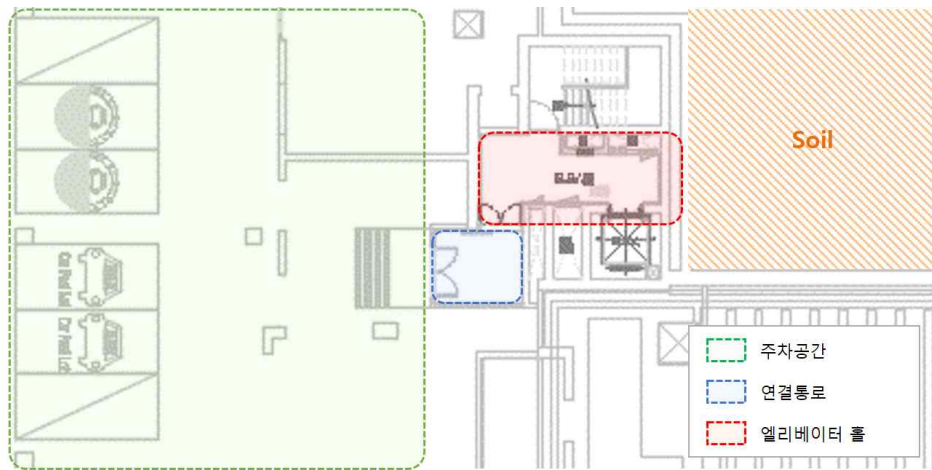
체의 표면온도는 외기의 영향은 거의 작고 지중에 큰 영향을 받을 것으로 판단된다. 그러나 [그림 3.13]에서 확인할 수 있듯이, 램프 및 팬룸 근처 공간의 절대습도와 심부 근처 공간의 절대습도는 변화폭은 다소 차이가 있지만 외기 변화 범위 안에 존재하는 것으로 나타났다.

3.2.2 엘리베이터 홀 결로 발생 메커니즘

지하주차장에는 주차공간뿐만 아니라 세대로 진입하기 위한 엘리베이터를 이용하는 엘리베이터 홀이 있다. 주차공간과는 달리 비교적 규모가 작아 결로 발생 시 입주민들이 결로를 쉽게 발견할 수 있다. 또한, 앞서 서술한바와 같이 엘리베이터 홀은 주차공간보다 결로 발생 기간이 오래 지속되기 때문에 이에 따른 결로 발생 메커니즘 분석과 방지 방안이 필요하다. 엘리베이터 홀의 결로 발생 메커니즘을 분석하기 위해 실측을 진행하였으며, 준공이 완료된 후 1년이 지난해의 결로가 발생한 엘리베이터 홀과 결로가 발생하지 않은 엘리베이터 홀의 비교분석하였다. 본 연구 대상지인 지하주차장의



[그림 3.14] 지중에 면하지 않은 엘리베이터 홀과 지중에 면한 엘리베이터 홀

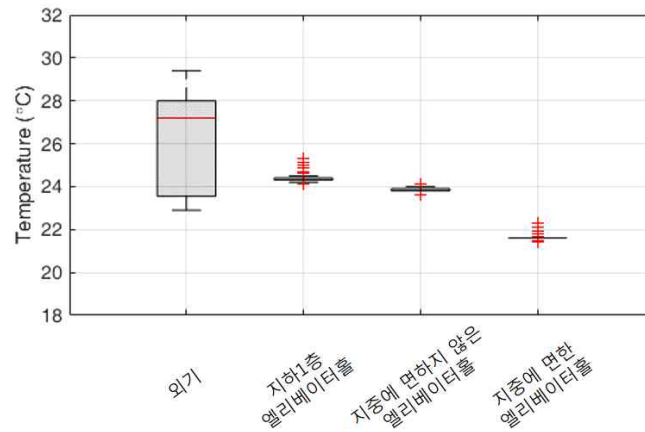


[그림 3.15] 지중에 면한 엘리베이터 홀

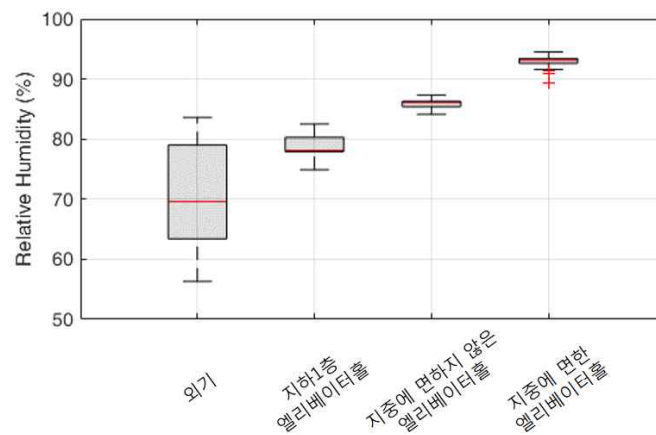
엘리베이터 홀은 총 6개가 있고, [그림 3.14]와 같이 지중에 면한 엘리베이터 홀과 지중에 면하지 않은 엘리베이터 홀로 구분할 수 있다. 지중에 면한 엘리베이터 홀에서는 결로가 발생하였고, 나머지 지중에 면하지 않은 엘리베이터 홀에서는 결로가 발생하지 않은 것을 육안으로 확인하였다. 결로가 발생한 엘리베이터 홀은 [그림 3.15]와 공간이 구성되며 지중에 면하게 설계되어있다.

[그림 3.16]은 본 연구대상공간의 엘리베이터 홀 공간의 온도와 외기 온도의 일변화이다. 최하층에 위치한 지중에 면하지 않은 엘리베이터 홀, 지중에 면한 엘리베이터 홀 그리고 지하 1층에 위치하면서 지중에 면한 엘리베이터 홀을 대상으로 하였다. 대상 엘리베이터 홀들은 외기 온도 변화에도 불구하고 온도변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 지중온도, 구조체의 열성능, 깊이 에 따라 다르지만 본 연구대상지의 엘리베이터 홀들의 온도는 지하1층에 위치한 엘리베이터 홀, 지중에 면하지 않은 엘리베이터 홀 그리고 지중에 면한

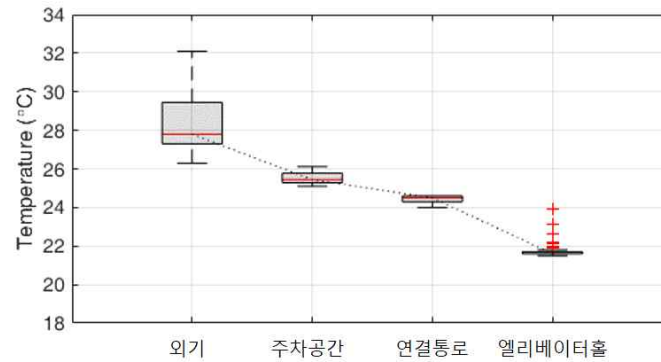
엘리베이터 홀 순으로 낮게 나타났다. 따라서 지중에 면한 엘리베이터 홀은 다른 공간들보다 공간의 온도가 낮고 상대습도는 90% 이상이므로 결로 발생 가능성이 다른 공간들에 비해 상대적으로 높을 것으로 판단된다[그림 3.17].



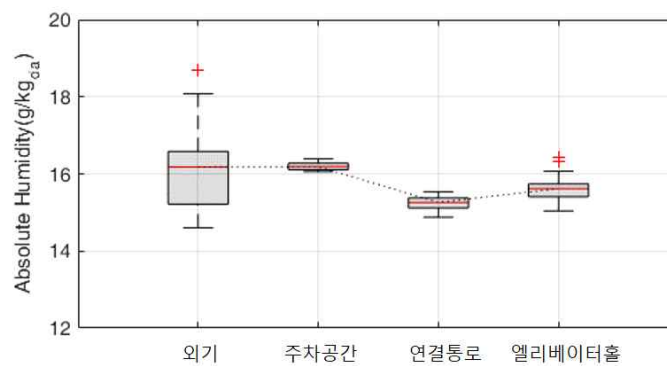
[그림 3.16] 외기 및 엘리베이터 홀별 온도



[그림 3.17] 외기 및 엘리베이터 홀별 상대습도



[그림 3.18] 외기, 엘리베이터홀 및 주요 공간의 온도

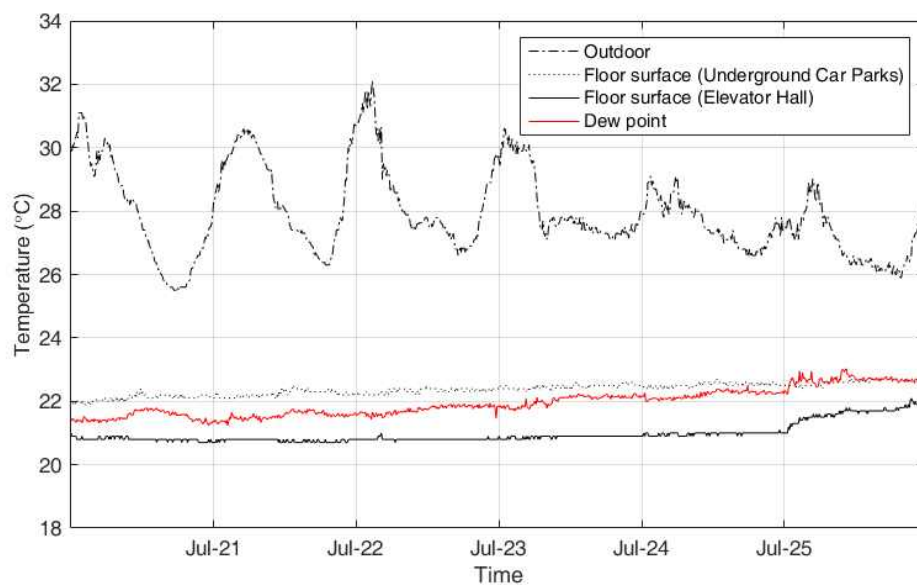


[그림 3.19] 외기, 엘리베이터 홀 및 주요 공간의 절대습도

[그림 3.18]은 지중의 면해 결로가 발생한 엘리베이터 홀의 공간, 연결통로, 주차공간의 온도 및 외기의 온도 일변화이다. 공간들의 온도 변화는 거의 없고, 주차공간, 연결통로, 지중의 면한 엘리베이터 홀 순으로 온도가 낮게 나타났다. 따라서 주차공간 같은 경우 자동차, 기계실 등 여러 내부발열 요소로 인하여 엘리베이터 홀보다 높은 온도를 형성하나, 엘리베이터 홀 같은 경우 내부발열 요소가 적어 상대적으로 낮은 온도를 형성하는 것으로 판단된다. 반

면, 절대습도는 주차공간, 연결통로 그리고 엘리베이터 홀을 측정한 기기의 오차 등의 이유로 다소 차이가 있지만, 외기와 같은 수준의 절대습도를 형성하는 것을 확인할 수 있다[그림 3.19].

[그림 3.20]은 주차공간, 엘리베이터 홀의 바닥 표면온도 및 노점온도 변화이다. 엘리베이터 홀 바닥의 표면온도는 주차공간의 바닥 표면온도보다 약 1℃ 낮은 것을 확인할 수 있다. 엘리베이터 홀의 바닥 표면온도는 노점온도보다도 낮아 결로가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 같은 깊이에 위치한 공간임에도 불구하고 엘리베이터 홀에서만 결로가 발생하는 것으로 나타났고, 이는 입주 후 주차공간의 경우 입주 후 내부발열로 인하여 상대적으로 온도가 높으나, 엘리베이터 홀의 경우 내부발열 요소가 없고, 연결통로와 같은 공간으로 인하여 상대적으로 높은 온도의 주차공간의 영향이 미미하고, 지중의 영향으로 상대적으로 낮은 온도를 형성하는 것으로 판단된다.



[그림 3.20] 주차공간, 엘리베이터 홀의 표면온도 및 노점온도 변화

3.3 소결

본 장에서는 지하주차장 결로 발생 메커니즘을 분석하기 위하여 지하주차장의 결로 발생 시기와 발생 위치를 분석하였고, 주차공간과 엘리베이터 홀로 나누어 각각의 결로 발생 메커니즘을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 지역별 지중 온도 및 외기조건, 지하주차장 구조체 열성능, 내부발열 등에 의해서 발생 시기는 다소 차이가 있지만 5월부터 9월까지 결로 발생 가능성이 존재한다. 주차공간의 경우 결로 발생은 입주 후 표면온도 상승으로 점점 감소하는 것으로 나타났다. 결로 발생은 중간층보다 최하층이 결로 발생 가능성 크고, 바닥의 표면온도가 벽체, 천장보다 낮아 바닥의 결로 발생 가능성이 가장 클 것으로 판단된다.
- 2) 외기의 온도변화에도 주차공간의 공간의 온도나 구조체의 표면온도는 지중의 영향으로 거의 변화가 없지만 절대습도는 외기 변화 범위 안에 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 하절기 습기의 유입으로 결로가 발생하는 것으로 판단되며 바닥 표면온도와 노점온도의 차이는 최대 3℃ 차이가 나는 것으로 나타났다. 주차공간의 경우 입주 후 내부발열 등으로 인해 온도가 상승하여 결로 발생 위험이 적어지는 것으로 나타났다. 엘리베이터 홀의 경우 내부발열 요소가 없어 결로 발생 위험이 더 높은 것으로 판단된다.

제 4 장 지하주차장 결로 방지 방안 평가

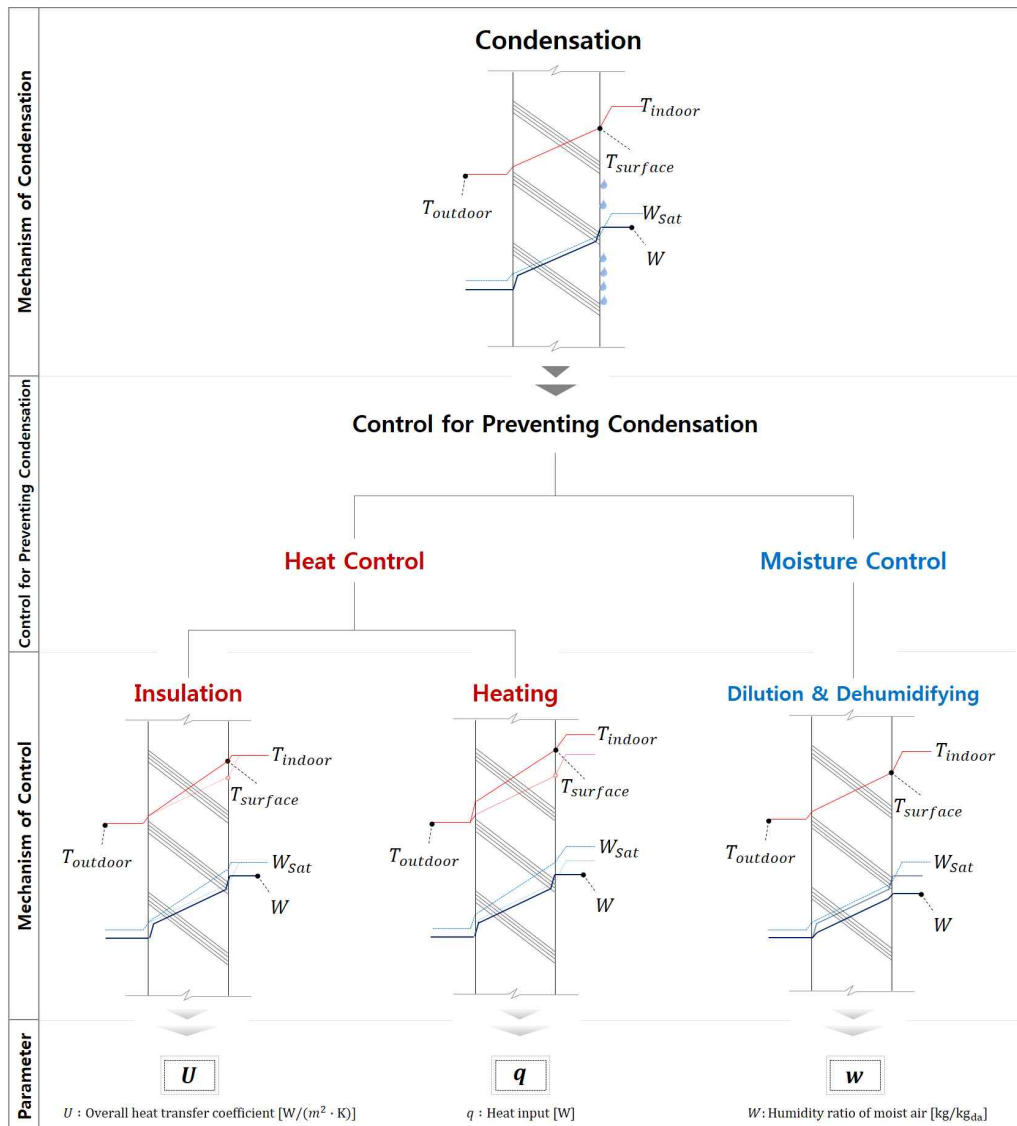
4.1 개요

본 장에서는 지하주차장의 결로 방지 방안을 평가하였다. 평가에 앞서 결로 방지 메커니즘에 따라 결로 방지 방안을 도출 및 분류하였고, 방지 방안 중 평가대상을 선정하였다. 결로가 발생하는 5월부터 8월까지, 최하층의 주차공간과 지중의 면한 엘리베이터 홀을 대상으로 하여 결로 방지 방안을 평가하였다.

4.1.1 결로 방지 메커니즘에 따른 방안 도출 및 분류

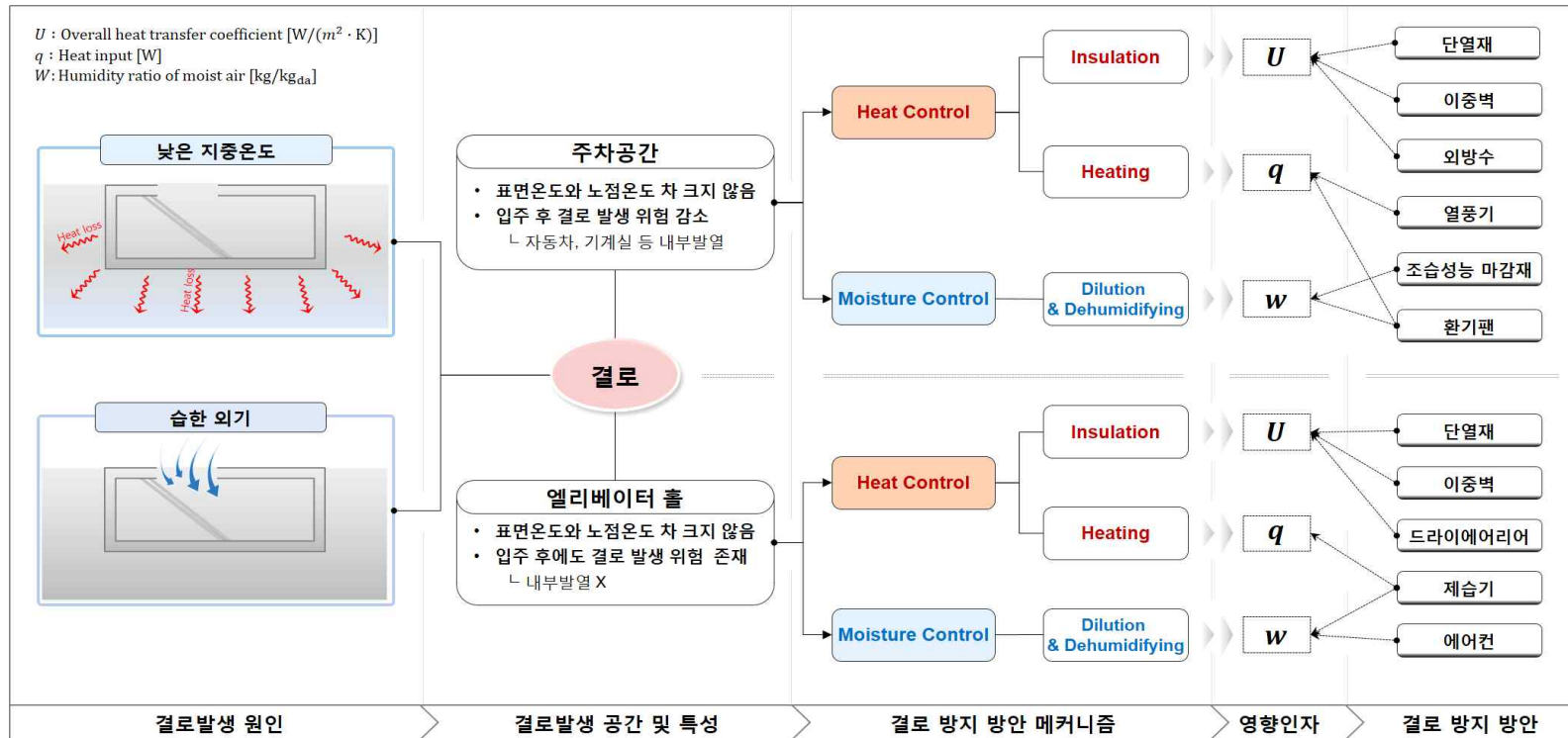
결로는 표면온도가 노점온도보다 낮아서 발생하는 현상이다. 따라서 결로를 방지하기 위해서는 표면온도를 노점온도보다 높게 유지하도록 단열 또는 가열을 하거나, 노점온도를 표면온도보다 낮추기 위해 공기 중의 수증기를 희석하거나 제거하면 된다. [그림 4.1]은 결로 방지하기 위한 메커니즘과 영향인자이다. 결로 방지를 위한 영향인자는 열관류율, 열량 그리고 공간의 수증기의 양이고, 이 영향인자들을 조절하여 결로를 방지할 수 있다.

결로 방지 메커니즘에 따라 지하주차장 결로 방지 방안을 분류하면 [그림 4.2]와 같다. 단열재, 이중벽, 드라이에어리어와 같은 방안은 열저항을 추가하여 단열성능을 향상시키는 방안이고, 외방수는 콘크리트의 열전도율을 낮추어 단열성능을 향상시키는 방안이다. 외방수는 지중과 면한 콘크리트 외표면에 방수 처리하여 콘크리트가 지하수 또는 흙의 수분의 영향을 받지 않도록 하여 콘크리트의 함수율을 낮추어준다. 콘크리트 함수율을 낮아짐에



[그림 4.1] 결로 방지 메커니즘 및 영향인자

따라 콘크리트의 열전도율이 감소하여 열전도율이 낮아져 단열성능이 향상되는 효과가 있다. 또한, 제습기, 조습성능 마감재, 환기, 에어컨과 같은 방안은 공간 내의 수분을 제거하여 결로를 방지하는 방안이다. 환기, 제습기와





[그림 4.3] 이동식 열풍기

같은 경우 공간 내의 수분을 제거할 뿐만 아니라 환기는 외기의 유입으로, 제습기는 토출되는 공기에 의해 표면온도를 상승시키는 효과도 있다.

주차공간의 경우 열풍기를 이용하여 가열하는 방안을 검토할 필요가 있다. 주차공간은 입주 전에만 결로가 발생하며, 바닥의 표면온도와 노점온도의 차가 크지 않다는 특징이 있고, 건설현장에서 [그림 4.3]과 같이 동절기 콘크리트 양생을 위해 다수의 이동식 열풍기를 보유하고 있기 때문에 이동식 열풍기와 같은 방안을 고려해볼 필요가 있다.

4.1.2 평가대상 선정

본 연구에서는 결로를 방지하기 위해 주차공간과 엘리베이터 홀의 다양한 방안들 중 일부를 평가하였다<표 4.1>.

평가 대상 중 이중벽은 단열재보다 단열성능이 낮으므로 단열재를 통한 결로 방지 방안보다 낮은 효과가 나타날 것으로 예측되기 때문에 평가대상에서 제외하였다. 또한 주차공간의 바닥은 일반적으로 에폭시 마감을 하여 콘크리트의 조습성능이 차단되기 때문에 조습할 수 있는 습기량이 제한적이고, 조습할 수 있는 능력은 재료별로 한계가 있기 때문에 이 성능보다 더

〈표 4.1〉 지하주차장 결로 방지 방안 평가대상

대상 공간	결로 방지 방안	평가 여부
주차공간	단열재	○
	이중벽	-
	외방수	○
	열풍기	○
	조습성능 마감재	-
	환기팬	○
엘리베이터 홀	단열재	○
	이중벽	-
	드라이에어리어	-
	제습기	○
	에어컨	○

많은 습기가 유입되면 조습성능을 지닌 마감재에서도 결로가 발생할 것으로 판단된다. 따라서 조습성능 마감재는 흡습을 통해 결로를 저감할 수 있지만 하절기 외기의 무한한 습기량을 흡습하여 결로를 완벽하게 방지하는 것은 한계가 존재할 것으로 예측되어 평가대상에서 제외하였다.

드라이에어리어의 경우 지중에 면하지 않게 하고 일사가 유입되도록 하는 효과가 있다. 그러나 드라이에어리어 방안은 공간 사용면적의 축소와 같은 단점으로 인해 일반적으로 적용되는 방안이 아니기 때문에 평가대상에서 제외하였다.

4.1.3 시뮬레이션 개요

(1) 시뮬레이션 입력조건

결로 방지 방안을 평가하기 위해 EnergyPlus를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 앞서 분석을 통해 램프지역의 위치별 온도 및 습도 차가 크지 않기 때문에 하나의 존으로 거동한다고 가정할 수 있고 이를 모사할 수 있는 EnergyPlus를 이용하였다. 또한, 공간의 절대습도가 외기와 비슷한 수준으로 형성되기 때문에 수증기 유입의 주원인이 외기라고 판단하여 콘크리트의 흡습 및 투습은 없다고 가정하였다.

〈표 4.2〉 주차공간 및 엘리베이터 홀의 열물성치

공간	레이어 구성		두께 [mm]	열전도율 [W/m·K]	열저항 [m ² ·K/W]
주차공간	천장	콘크리트	370	1.95	0.19
		중공층	-	-	0.15
	벽체	콘크리트	400	1.95	0.21
		플라스틱패널	19	0.19	0.10
	바닥	콘크리트	600	1.95	0.31
엘리베이터 홀	천장	콘크리트	370	1.95	0.19
		중공층	-	-	0.15
		천장패널	12.5	0.19	0.07
	벽체	콘크리트	400	1.95	0.21
		타일	25	1.8	0.01
	바닥	콘크리트	600	1.95	0.31
		무근콘크리트 (섬유보강)	50	0.24	0.21
		타일	25	1.8	0.01

주차공간과 엘리베이터 홀의 시뮬레이션 모델은 각각 43092 m^3 , 45.9 m^3 의 체적과 12674 m^2 , 19 m^2 의 바닥면적으로 실측 대상지와 같은 규모로 모델링하였으며, 구조체의 열물성치는 <표 4.2>와 같이 설정하였다. 주차공간과 엘리베이터 홀의 조명 부하는 각각 2 W/m^2 ³²⁾, 3 W/m^2 , 침기율은 각각 ACH 0.15, ACH 1³³⁾로 설정하였다. 조명부하와 침기율은 각 건물에 따라 달라질 수 있는 값이기 때문에 선행연구에 따라 분석된 대략적인 값을 이용하였다. 외기조건은 2015년 하절기 실측한 온·습도데이터를 활용하였다. 또한, 지중온도를 설정하기 위하여 Xing 모델³⁴⁾을 이용하였으며, 이 모델에서 제공하는 지역별 지중온도 값 중 대상지역의 지중온도 값을 입력하여 지중에 면한 벽체 및 바닥의 경계조건을 설정하였다. 주차공간의 경우 결로가 발생하는 시기인 입주 전 하절기에는 입주민들의 차량이 없는 공간이므로 차량의 발열은 고려하지 않았으며, 기계실 등에서의 내부발열도 고려하지 않았다.

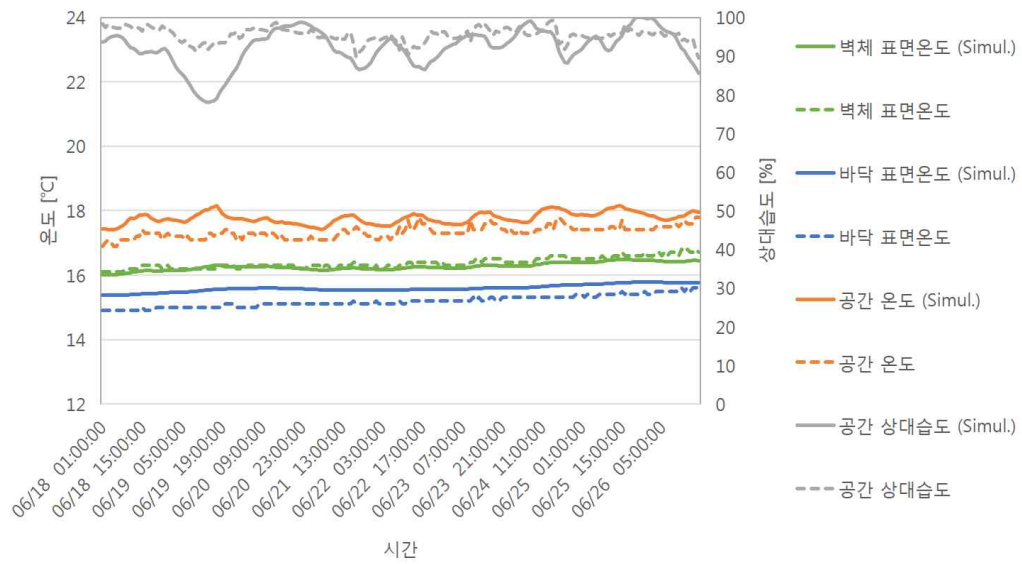
(2) 시뮬레이션 검증

주차공간과 엘리베이터 홀의 시뮬레이션 모델을 검증하기 위하여 온·습도 그리고 표면온도 측정결과와 시뮬레이션 결과를 비교하여 검증하였다. 실측결과와 시뮬레이션 비교결과 주차공간의 온도는 약 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 상대습도는 약 12 % 오차가 존재하며[그림 4.4], 엘리베이터 홀의 경우 온도는 약 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 상대습도는 약 6.1 %의 오차가 존재한다[그림 4.5].

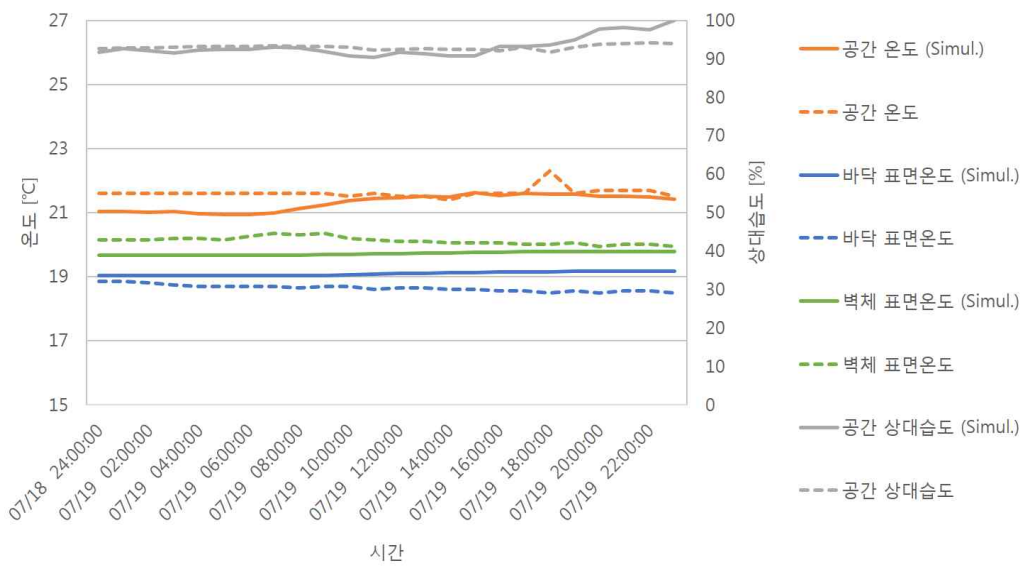
32) 김곤 외, 2009, 공동주택 지하주차장의 조명설계 및 운용실태에 따른 성능평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 16(9), pp.189-196

33) 김종엽 외, op. cit., p.212

34) Lu Xing, op. cit.



[그림 4.4] 주차공간의 실측 및 시뮬레이션 결과 비교



[그림 4.5] 엘리베이터 홀의 실측 및 시뮬레이션 결과 비교

4.2 주차공간 결로 방지 방안 평가

4.2.1 단열 방안 평가

단열성능을 향상시키는 방법은 열저항을 추가하여 단열성능을 향상시키거나 구조체의 열전도율을 낮추는 방안이 있다. 열저항을 추가하여 단열성능을 향상시키는 방안은 단열재, 이중벽과 같은 방안이 있으며, 구조체의 열전도율을 낮추는 방안으로는 외방수가 있다. 외방수의 주목적은 누수를 막기 위함이지만, 콘크리트의 함수율을 낮추어 콘크리트의 열성능을 향상시켜 결로를 방지하는 역할도 수행한다.

(1) 단열재 설치

앞서 기술한 바와 같이 단열재, 이중벽과 같은 결로 방지 방안은 열저항을 추가하여 열성능을 향상시킨다. 그러나 이러한 이중벽, 단열재 적용에도 불구하고 결로가 발생하는 사례가 존재하며, 효과적으로 결로를 막지 못하고 있다. 따라서 단열재, 이중벽 등과 같이 열저항을 추가하는 방안 적용에 앞서 어느 부위로 열손실이 많은지를 파악해야한다. 열손실이 어디로 얼마만큼의 비율로 빠져나가는지 파악하기 위해 아래와 식(4.2)를 활용할 수 있다. 지중을 통한 열손실은 1차원의 열류흐름이 아니지만, 대략적인 값을 파악하기 위해 1차원 정상상태로 가정하면 벽체 및 바닥을 통한 열손실 비율을 식(4.1)과 같이 나타낼 수 있다. 실내온도와 바닥에 면한 지중의 온도의 차와 실내온도와 벽체에 면한 지중의 온도의 차는 크지 않고, 일반적으로 바닥 및 벽체 면적에 비하여 작기 때문에 식(4.2)와 같이 간략화 하여 계산할 수 있다.

$$\frac{Q_{floor}}{Q_{wall}} = \frac{U_{floor} A_{floor} (t_{room} - t_{ground(floor)})}{U_{wall} A_{wall} (t_{room} - t_{ground(wall)})} \quad (4.1)$$

$$\frac{Q_{floor}}{Q_{wall}} \approx \frac{U_{floor} A_{floor}}{U_{wall} A_{wall}} \quad (4.2)$$

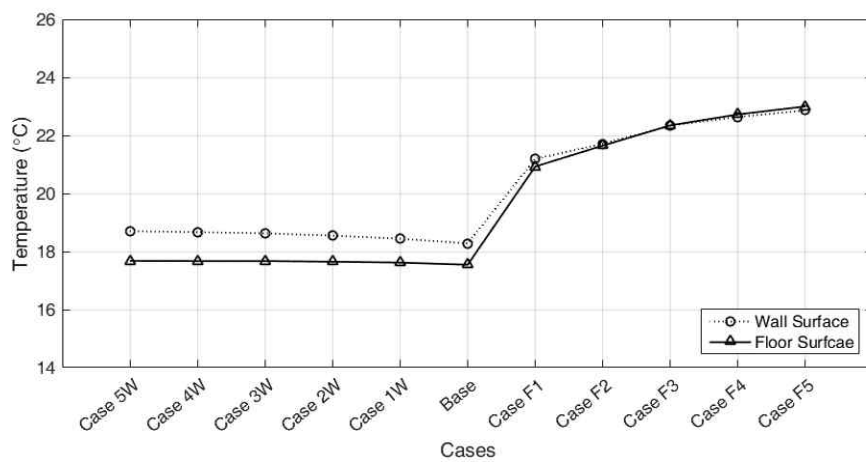
여기서,

Q_{floor}	:	바닥을 통한 열손실, W
Q_{wall}	:	벽체를 통한 열손실, W
U_{floor}	:	바닥의 열관류율, W/(m ² · K)
U_{wall}	:	벽체의 열관류율, W/(m ² · K)
A_{floor}	:	바닥 면적, m ²
A_{wall}	:	벽체 면적, m ²
t_{room}	:	실내 온도, °C
$t_{ground(floor)}$:	바닥에 면한 지중의 온도, °C
$t_{ground(wall)}$:	벽체에 면한 지중의 온도, °C

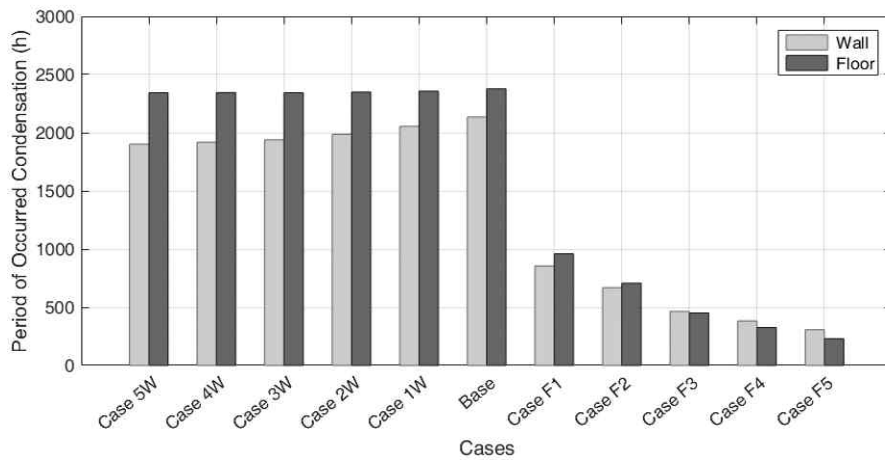
이 값이 1 이상이면 바닥을 통한 열손실이 크고, 1 이하이면 벽체를 통한 열손실이 크다. 본 연구대상 공간의 바닥 및 벽체면적은 각각 12674 m², 1718 m² 이고, 바닥 및 벽체의 열관류율은 각각 2.1 W/(m² · K), 1.7 W/(m² · K) 으로 식(4.2)에 대입하면 약 9.1 이므로 벽체보다 바닥을 통한 열손실이 큰 것으로 나타났다. 따라서 바닥의 단열성능을 향상시켜야 결로 방지에 효과가 있을 것으로 판단된다. <표 4.3>은 벽체, 바닥 부위별로 단열재를 적용한 케이스이고, [그림 4.6]과 [그림 4.7]은 케이스 별 벽체 및 바닥의 표면온도와 결로 발생시간이다. 분석결과 벽체의 단열재를 적용하는 것보다

〈표 4.3〉 벽체, 바닥 단열재 적용 케이스

	Case										
	5W	4W	3W	2W	1W	Base	F1	F2	F3	F4	F5
Wall Insulation Thickness [mm]	125	100	75	50	25	0	0	0	0	0	0
Floor Insulation Thickness [mm]	0	0	0	0	0	0	25	50	75	100	125



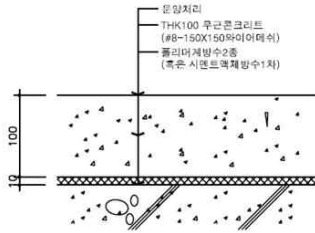
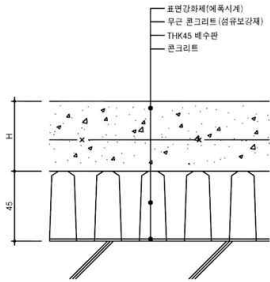
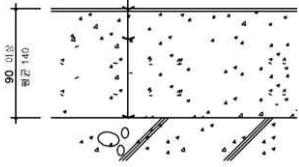
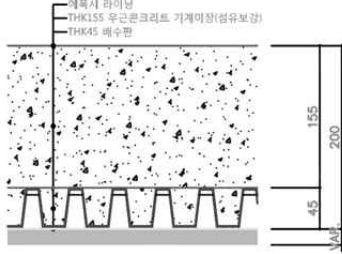
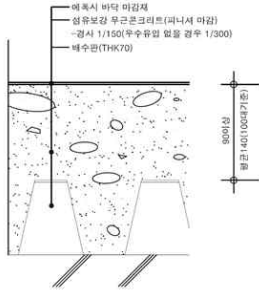
[그림 4.6] 단열재 두께 변화에 따른 벽체 및 바닥의 표면온도



[그림 4.7] 단열재 두께 변화에 따른 벽체 및 바닥의 결로 발생시간

바닥에 단열재를 적용하는 것이 결로 방지에 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 입주 전에 발생하는 결로를 방지하기 위해 주차공간의 바닥에 단열재를 적용하는 것은 비효율적이고, 바닥은 차량의 이동으로 구조성능이 확보되어야하기 때문에 <표 4.4>와 같이 배수판, 콘크리트, 에폭시 마감으로 구성하며 단열재를 설치하지 않는 것이 일반적이다.

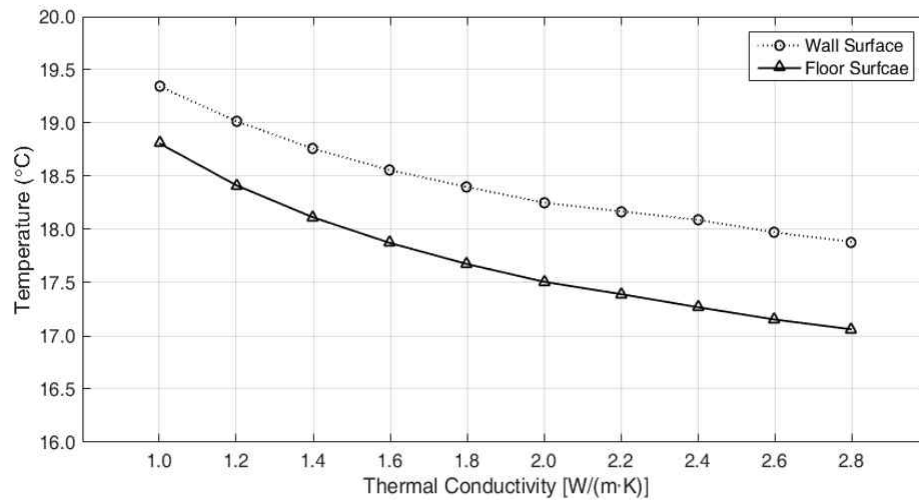
<표 4.4> 건설사별 지하주차장 바닥 레이어 구성

건설사	바닥 레이어 구성	건설사	바닥 레이어 구성
A	 <p>문양처리 THK100 무근콘크리트 (#8-150X150마이어배쉬) 폴리머제빙수층 (혹은 시엔트록제빙수1차)</p> <p>100</p>	D	 <p>표면단화제(에폭시제) 무근 콘크리트 (점유보강재) THK45 배수판 콘크리트</p> <p>15</p>
B	 <p>에폭시코팅(최종준마감) THK90이상(평균140) 무근콘크리트 (#8-150X150마이어배쉬) 경사 1/150 (무수유입 없을 경우 1/300) 콘크리트</p> <p>90 이상 평균 140</p>	E	 <p>에폭시 라이닝 THK155 무근콘크리트 기계마장(점유보강) THK45 배수판</p> <p>155</p>
C	 <p>에폭시 바닥 마감재 점유보강 무근콘크리트(파니시 마감) 경사 1/150 (무수유입 없을 경우 1/300) 배수판(THK70)</p> <p>140 이상 평균 140(100마이어배)</p>	-	-

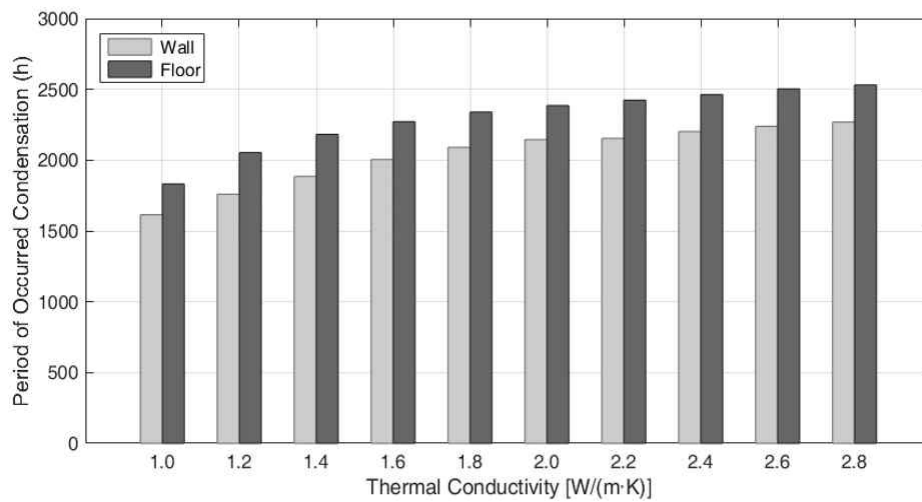
(2) 외방수

외방수는 누수 방지를 주목적으로 적용되는 시공법이지만, 콘크리트의 함수율을 낮추어 열성능을 향상시켜 결로를 방지하는 역할도 수행한다. 콘크리트의 함수량과 콘크리트의 열전도율에는 상관관계가 존재하기 때문에 콘크리트의 함수량이 증감함에 따라 콘크리트의 열전도율이 증가한다. 따라서 외방수를 적용하게 되면 지중으로부터의 수분 유입이나, 지하수 침투를 막아 콘크리트의 함수량을 낮출 수 있고, 이에 따라 콘크리트의 열성능을 향상시킬 수 있다.

외방수의 결로 저감 효과를 분석하기 위해 WUFI의 재료 데이터베이스를 활용하였고, 함수량에 따른 콘크리트의 열전도율 변화범위를 약 $1.3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 에서 약 $2.5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 외방수를 적용하면 $1.3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 에 가까운 값이 나타나고, 내방수를 적용하거나 방수처리를 하지 않을 경우 지중의 영향으로 함수량이 증가하여 높은 열전도율 값을 가질 것으로 판단된다. 내방수 혹은 방수처리를 하지 않아 콘크리트 열전도율이 $2.5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 이라고 가정하면 바닥의 결로 발생 시간은 약 2500 시간인 반면, 외방수를 하여 열전도율이 $1.3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 이라고 가정할 경우 바닥의 결로 발생 시간은 약 2200 시간이다. 외방수를 적용하면 내방수나 방수처리를 하지 않은 것 보다 표면온도는 약 1°C 이상 상승하여 결로 방지의 효과가 있는 것으로 나타났다[그림 4.8]. 그러나 외방수 적용에도 불구하고 2000 시간 이상 동안 결로가 발생하기 때문에 외방수를 통해 구조체의 단열성능을 향상시키는 방안은 큰 효과를 기대하기 어려울 것으로 판단된다[그림 4.9].



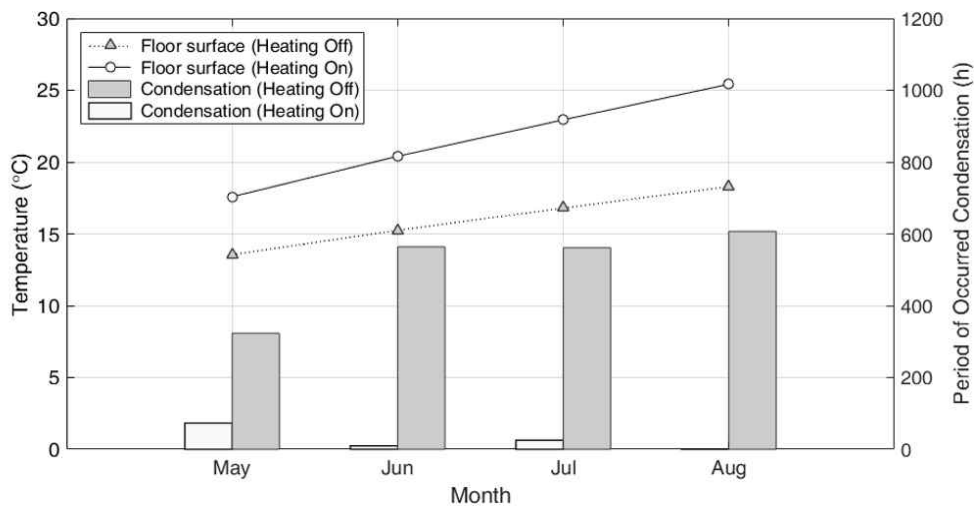
[그림 4.8] 콘크리트 열전도율에 따른 벽체 및 바닥의 표면온도



[그림 4.9] 콘크리트 열전도율에 따른 벽체 및 바닥의 결로 발생시간

4.2.2 가열 방안 평가

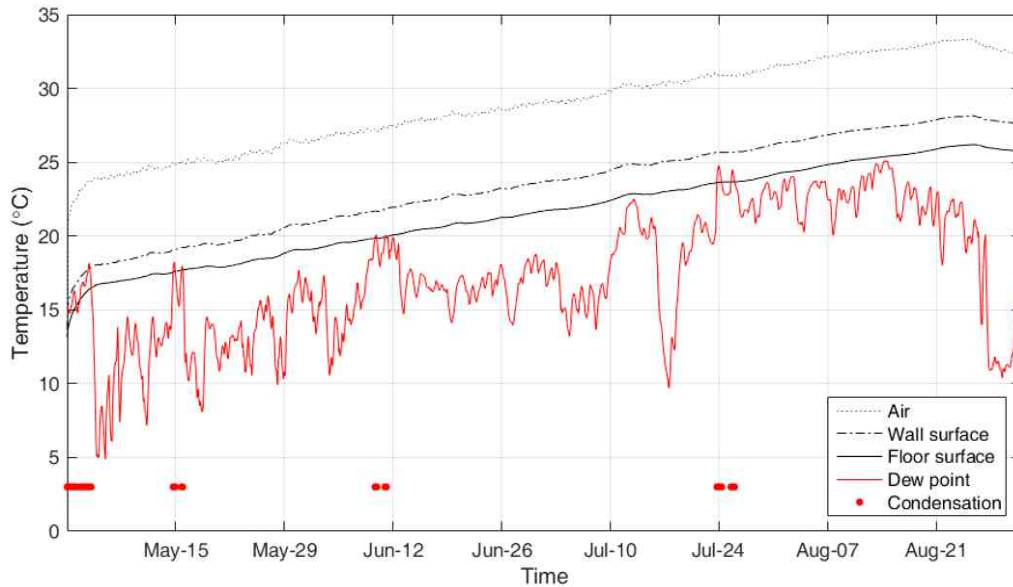
앞서 분석을 통해 표면온도와 노점온도의 차이는 최대 3 ℃ 차이 밖에 나지 않으므로 가열을 통해 결로를 방지하는 방안을 검토할 필요가 있다. 가열기기의 용량을 산정하기 위해 공간의 온도를 설정한 뒤 지중으로부터 손실되는 열량을 계산해야한다. 김종엽³⁵⁾은 지하공간의 공기 온·습도가 22 ℃에 100% 일 경우 결로 방지 공기온도조건은 31 ℃이므로 설정온도를 31 ℃로 하여 난방부하를 계산하였다. 그러나 이 값은 모든 공간에 적용되는 값은 아니며 구조체 단열성능에 따라 설정온도가 달라질 수 있다. 지중온도는 13 ℃로 설정하여 G. P. Mitalas³⁶⁾의 방법을 통해 부하를 계산하였으며, 픽업로드를 고려해 50%의 안전율을 두어 약 310 kW 값을 산출하였다. 5월부터 8월까지 위 열량을 공급하여 분석한 결과는 [그림 4.10]과 같다. 가열



[그림 4.10] 가열에 따른 월별 결로 발생 시간 및 월평균 표면온도

35) 김종엽 외, op. cit., p.56

36) G. P. Mitalas, 1982, Basement Heat Loss Studies At DBR/NRC, National Research Council of Canada, Division of Building Research

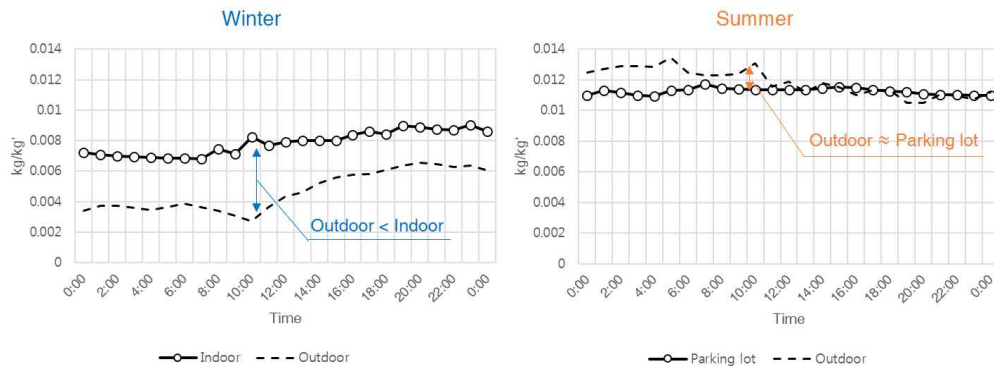


[그림 4.11] 가열에 따른 공간온도, 구조체의 표면온도 및 노점온도 변화

하지 않을 경우 5, 6, 7 8월 모두 결로가 발생하였으며, 가열할 경우 100 시간 이하로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 해당기간 일부 구간에서 노점온도의 상승으로 인하여 결로가 발생하지만, 가열을 통해 대부분 기간의 결로를 방지 할 수 있는 것으로 나타났다[그림 4.11].

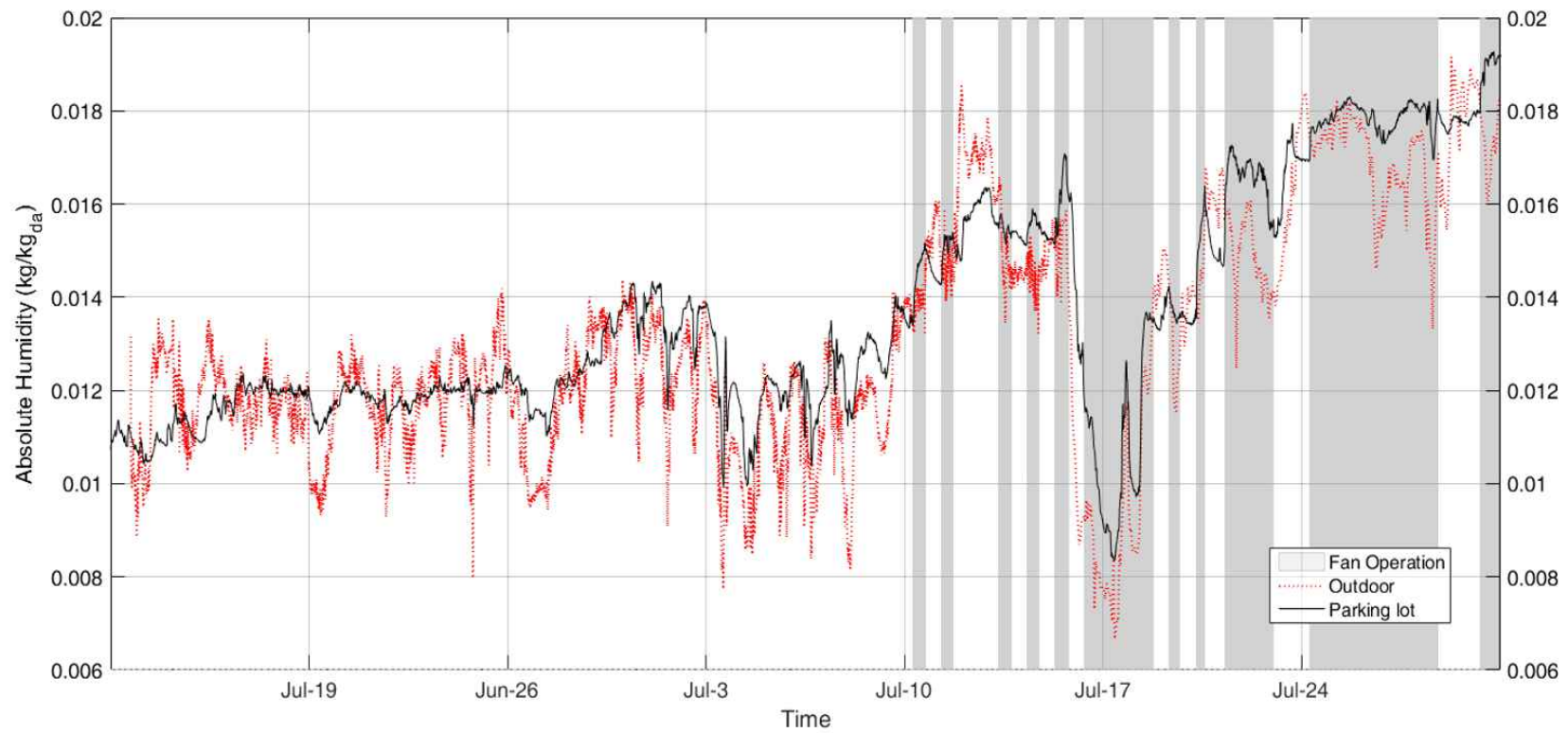
4.2.3 환기 방안 평가

환기팬은 주차공간에 자동차 일산화탄소 배출을 목적으로 설치된다. 환기팬은 실내공기질 개선 목적이외에도 결로 방지용으로도 활용된다. 하절기 공간보다 상대적으로 높은 온도의 외기를 환기팬을 통해 유입시켜 표면온도를 상승시키고, 공간의 습기를 희석하는 효과로 결로 방지에 활용된다. 그러나 동절기 인체활동으로 인해 수증기가 발생한 실내에 상대적으로 습기가

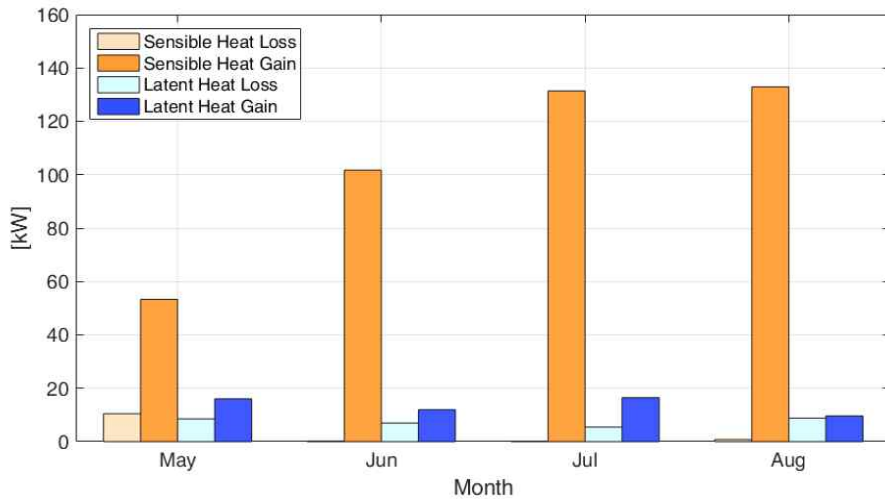


[그림 4.12] 동절기 실내, 하절기 주차공간의 절대습도

낮은 외기를 도입하면 습기를 희석할 수 있지만 하절기에는 외기의 습기로 인해 공간의 습기가 희석되지 않을 가능성이 존재한다. 특히, 지하주차장과 같이 기밀하지 않은 구조에서는 외기가 유입되기 때문에 습기가 희석되는 효과가 나타나지 않을 수 있다. [그림 4.12]는 동절기 실내와 외기의 절대습도, 하절기 주차공간과 외기의 절대습도이다. 동절기에는 실내의 절대습도가 외기보다 높지만, 하절기에 주차공간과 외기의 절대습도는 비슷한 수준에 존재하는 것을 확인할 수 있다. [그림 4.13]은 하절기 지하주차장 팬 가동에 따른 주차공간의 절대습도 변화이다. 팬 가동여부와 상관없이 주차공간의 절대습도는 외기의 절대습도와 비슷한 수준을 형성하는 것을 확인할 수 있다. 주차공간 내에서의 수증기 발생이 없고, 공간의 특성상 기밀한 구조가 아니기 때문에 외기가 지속적으로 유입되어 외기와 비슷한 수준의 절대습도를 형성하는 것으로 판단된다. 따라서 하절기 환기팬을 가동하여 공간의 습기를 제거가 가능한 기간이 존재하기는 하지만, 주차공간의 수증기의 양이 외기와 비슷한 수준이기 때문에 환기팬을 가동하여 외기를 유입시키더라도 공간의 습기를 제거하는 효과가 크지 않은 것으로 판단된다.



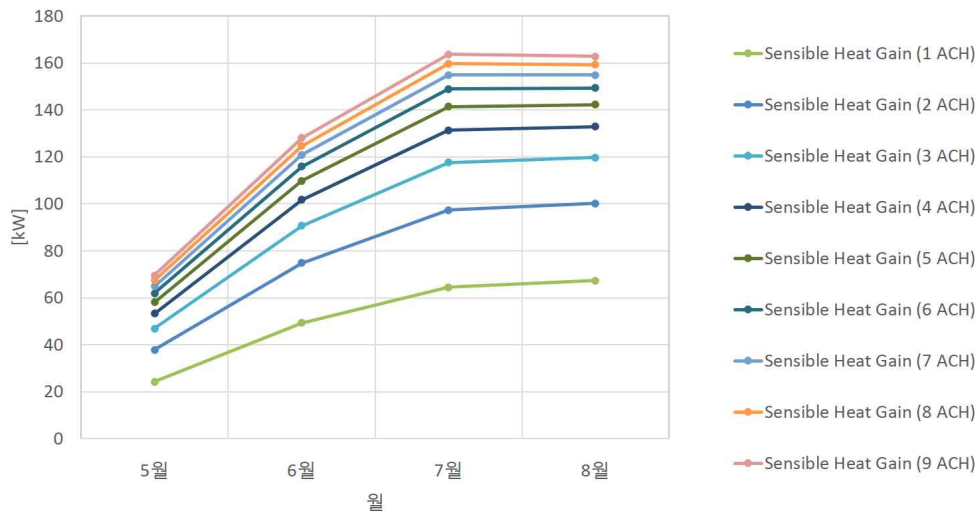
[그림 4.13] 하절기 팬 작동에 따른 주차공간의 절대습도 변화



[그림 4.14] 환기팬 작동에 따른 월평균 현열 및 잠열의 획득 및 손실 열량

[그림 4.14]는 시뮬레이션을 통해 본 연구대상 공간에서 환기팬 작동 시 월별 평균 현열, 잠열의 획득 및 손실 열량이다. 환기량은 약 4 ACH 이고, 결로가 발생한 5월부터 8월까지 작동시켰다. 분석기간 동안 잠열 획득 열량은 잠열 손실 열량보다 큰 것으로 나타났다. 따라서 주차공간에서 환기팬 작동을 통해 공간의 습기 회석보다 습기 유입이 클 것으로 판단된다. 또한, 현열 획득 열량이 손실 열량보다 큰 것으로 보아 환기팬 작동 시 공기 및 구조체에 공급되어 표면온도가 상승하여 결로 저감효과가 나타날 것으로 판단된다. 그러나 환기팬 가동을 통해 공급되는 평균열량은 약 104 kW 로 앞서 가열 방안에서 결로 방지를 위해 공급한 310 kW 에 비하여 3분의 1수준이다. 따라서 가열하는 방안만큼 표면온도를 상승시킬 수 없고, 결로방지의 한계가 존재할 것으로 판단된다.

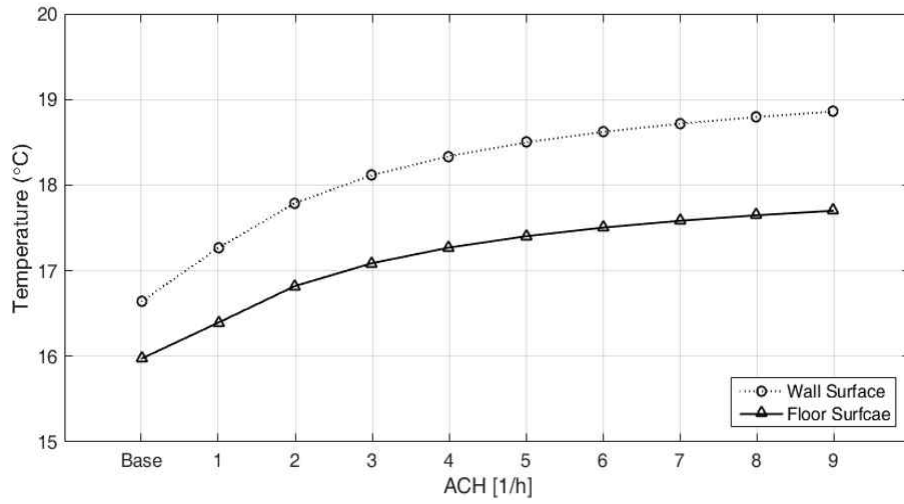
환기 팬을 가동하여 충분한 가열량을 확보하기 위해서는 온도차를 크게 하거나, 환기량을 증가시켜야한다. 그러나 온도차를 증가시키기 위해 외기의



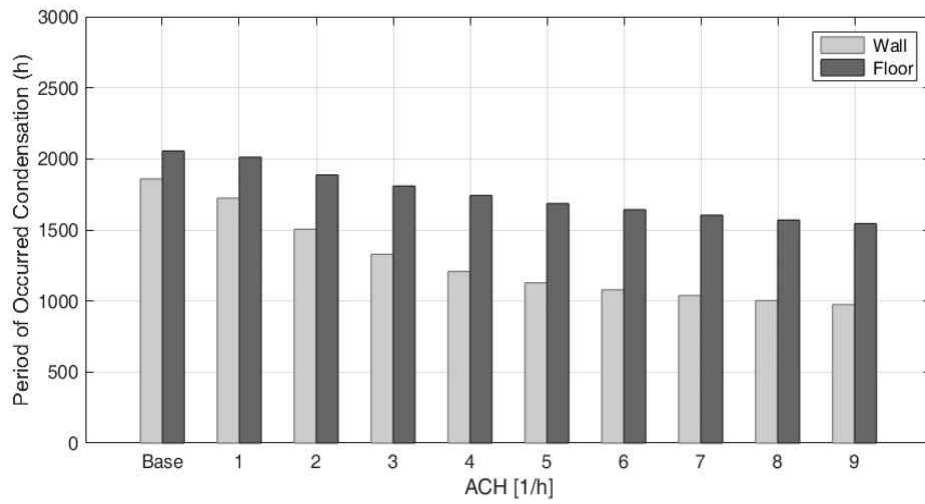
[그림 4.15] 환기량 변화에 따른 획득 현열량

온도를 증가시키는 것은 불가능하므로 환기량을 늘려 열량을 확보할 수 있다. [그림 4.15]는 환기량 변화에 따른 획득 현열량을 나타낸 것이다. 환기량이 증가함에 따라 획득 현열량이 증가하지만, 상승폭은 점점 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 환기팬 작동으로 인한 외기유입으로 공간의 온도가 상승하고, 외기와 온도차가 작아짐에 따라 획득 열량이 작아져 상승폭이 작아지는 것으로 판단된다. 상승폭이 거의 없는 9 ACH에서의 획득 현열량은 평균 130 kW이고, 가열 방안에서 결로 방지를 위해 공급한 310 kW 보다 적으므로 결로를 효과적으로 막지 못할 것으로 판단된다.

[그림 4.16]과 [그림 4.17]은 환기량 변화에 따른 벽체 및 바닥의 표면온도와 결로 발생시간이다. 표면온도가 상승함에 따라 결로발생 시간이 감소하지만 상당기간 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 환기량을 증가하여 표면온도 상승시켜 결로를 저감시킬 수는 있지만 결로를 완벽하게 방지하기에는 한계가 존재하는 것으로 판단된다.



[그림 4.16] 환기량 변화에 따른 벽체 및 바닥의 표면온도

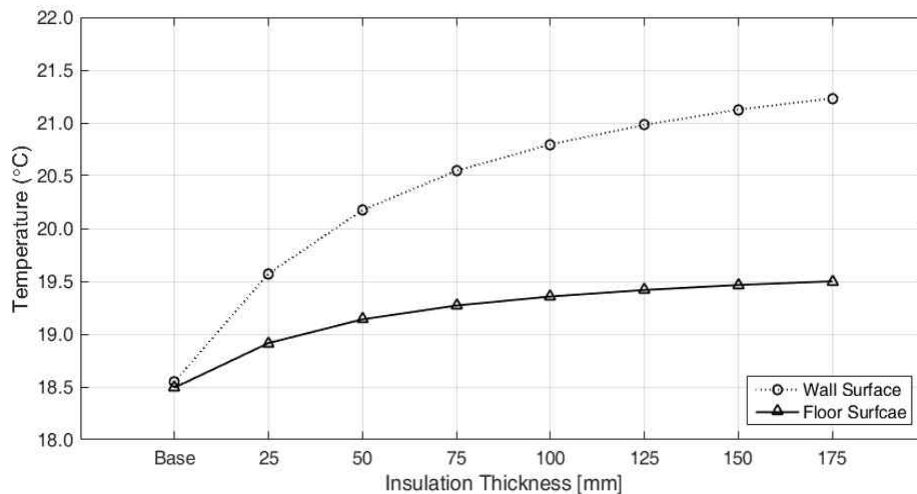


[그림 4.17] 환기량 변화에 따른 벽체 및 바닥의 결로 발생시간

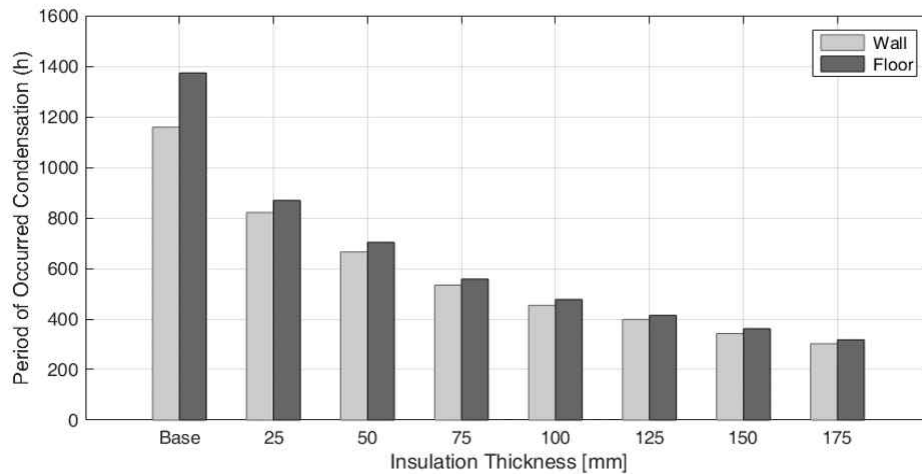
4.3 엘리베이터 홀 결로 방지 방안 평가

4.3.1 단열 방안 평가

예비적 고찰을 통해 엘리베이터 홀에 적용될 수 있는 방안은 단열재, 이중벽, 드라이에어리어와 같은 방안이 있다는 것을 확인하였다. 위 방안들은 지중에 면했을 때 단열성능을 향상시키기 위해 열저항을 추가하는 방안들이다. 이 방안들 중 드라이에어리어는 지중과 면하지 않고 개구부를 뚫어 일사가 유입되기 때문에 결로 저감에는 효과적일 것으로 판단되지만, 설치 면적이 필요하고 일반적으로 적용되는 방안이 아니기 때문에 평가대상에서 제외하였고, 단열재 적용에 따른 결로 방지 효과를 평가하였다. 이중벽은 단열재보다 열성능이 낮으므로 결로 단열재보다 결로 방지 효과가 크지 않을 것으로 판단되어 평가대상에서 제외하였다. [그림 4.18]과 [그림 4.19]는 엘리베이터 홀 지중에 면한 바닥 및 벽체의 단열재를 적용하였을 때의 표면온도



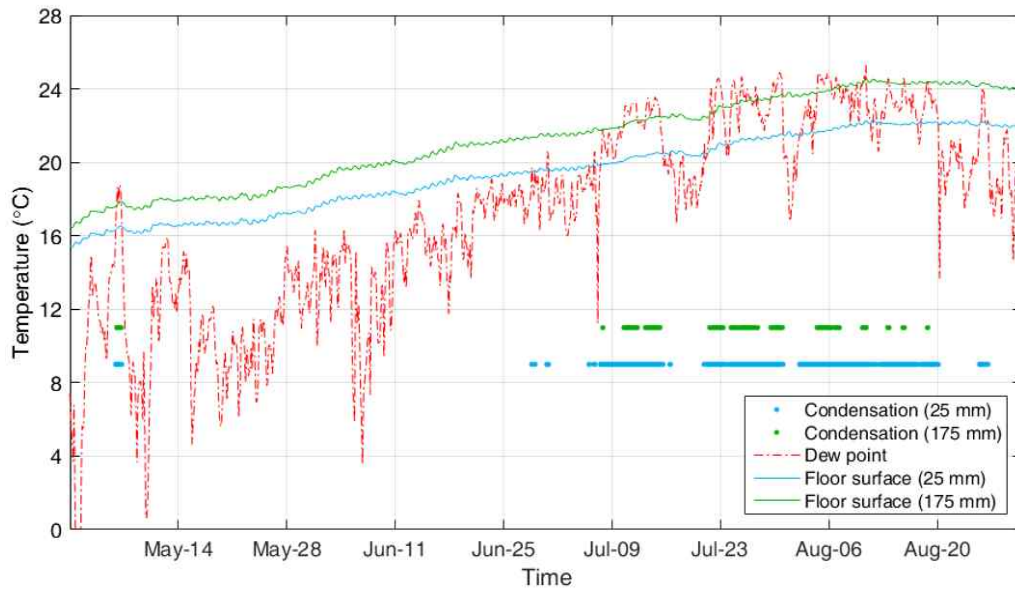
[그림 4.18] 단열재 두께 변화에 따른 벽체 및 바닥의 표면온도



[그림 4.19] 단열재 두께 변화에 따른 벽체 및 바닥의 결로 발생시간

와 결로 발생 시간이다.

단열재 두께 증가에 따라 결로 발생 시간은 줄고 표면온도는 상승하지만, 에너지절약 설계기준 외기에 직접면한 벽체의 단열재 수준인 단열재 두께 150 mm를 적용하여도 결로가 발생하는 것으로 나타났다. [그림 4.20]은 단열재 25 mm 와 175 mm를 적용했을 때 바닥 표면온도 및 노점온도이다. 단열재 두께가 두꺼울수록 결로 발생은 줄어들지만 두 케이스 모두 7, 8월에는 결로가 발생하는 기간이 존재하는 것으로 나타났다. 이는 단열재 적용에도 불구하고 7, 8월 습한 외기로 인해 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 엘리베이터 홀이 지중에 면한 면의 개수등과 같은 경계조건에 따라 다르지만 본 연구대상지에서는 단열재 적용에도 불구하고 결로가 발생하였으므로 단열재 적용만으로는 결로를 완벽하게 방지할 수 없을 것으로 판단된다.



[그림 4.20] 단열재 25 mm 및 175 mm 적용 시 바닥 표면온도 및 노점온도 변화

4.3.2 제습 방안 평가

(1) 제습기

대부분 건설사에서 결로 방지를 위하여 엘리베이터 홀에 에어컨 및 제습기와 같은 제습장치를 설치한다. 제습장치 설치에 앞서 제습부하를 산정해야하며, 제습부하는 식(4.3)에 의하여 산정할 수 있다. 2015년 하절기 절대습도가 가장 높았던 $0.023972 \text{ kg/kg}_{\text{da}}$ (27.9°C , 100%) 일 때의 환기량 1 ACH 유입된다고 가정하였고, 결로 발생이 많은 8월 엘리베이터 홀의 표면온도는 19°C 이상이므로, 노점온도가 19°C 의 절대습도인 $0.01377 \text{ kg/kg}_{\text{da}}$ 로 설정하였다. 실의 부피는 45.9 m^3 이며, 식(4.3)에 대입하여 안전율 10%를 두어

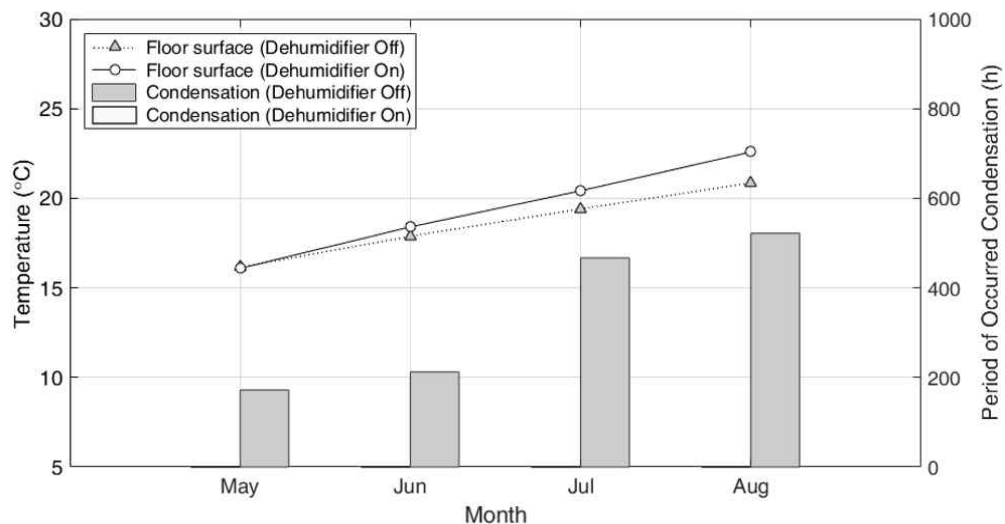
계산한 결과 약 14.8 kg/day 이다. 따라서 제습기 용량을 15 l/day로 하고, 설정 상대습도를 60%로 하여 분석한 결과는 [그림 4.21]과 같다. 제습기 작동으로 모든 기간 결로가 발생하지 않으며, 응축기를 거치며 상승한 공기의 온도로 인해 표면온도가 상승하는 효과도 존재한다.

[그림 4.22]은 제습기 가동에 따른 표면온도, 노점온도 그리고 제습량 변화이다. 시간이 지남에 따라 절대습도 증가로 인해 제습량이 증가하다 감소

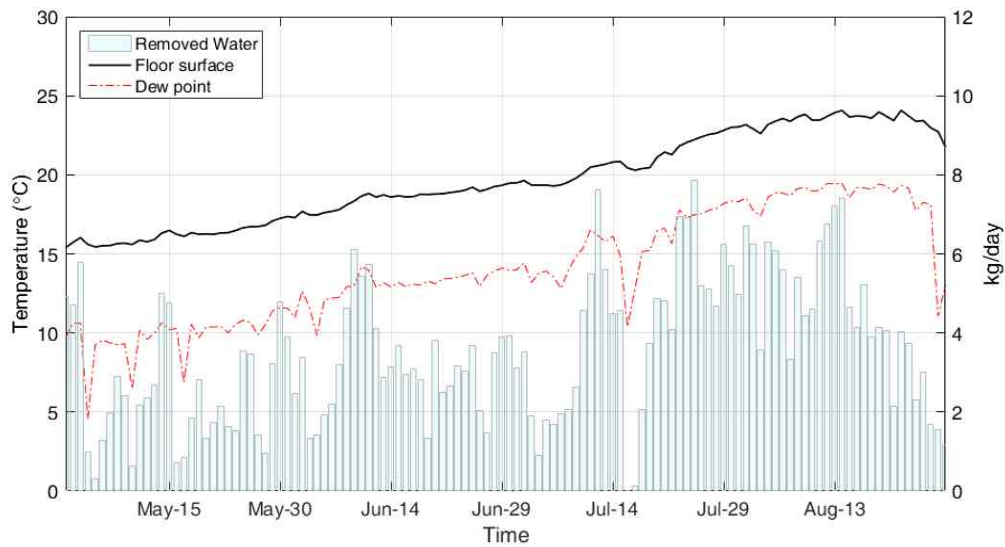
$$W = Q \rho_{air} (w_i - w_o) \quad (4.3)$$

여기서,

- W : 제습부하, kg/s
- Q : 환기량, m³/s
- ρ_{air} : 표준 공기의 밀도, 약 1.2 kg_{da}/m³
- w_i : 실내 공기의 절대습도, kg/kg_{da}
- w_o : 실외 공기의 절대습도, kg/kg_{da}



[그림 4.21] 제습기 가동에 따른 월별 결로 발생 시간 및 표면온도



[그림 4.22] 제습기 가동에 따른 표면온도, 노점온도 그리고 제습량 변화

<표 4.5> 월 평균 외기 노점온도, 절대습도 그리고 제습량

	외기 평균 절대습도 [kg/kg _{da}]	평균 제습량 [kg/day]	최대 제습량 [kg/day]
5월	0.00927	2.5	5.8
6월	0.01194	3.2	6.1
7월	0.01442	4.0	7.9
8월	0.01708	4.5	7.4

하는 경향은 추세를 띄는 것으로 나타났다.

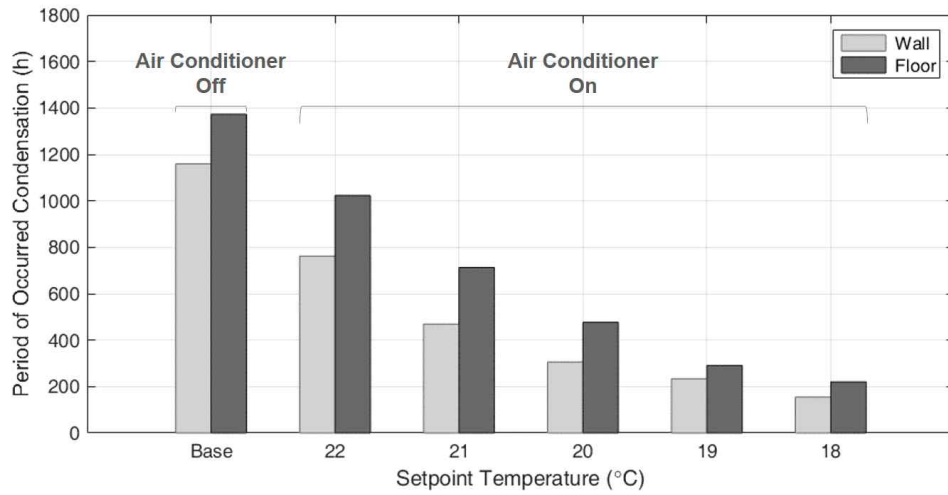
본 연구 대상의 최대 제습량은 7.9 kg/day로 제습부하 계산을 통해 산정한 용량으로 충분히 결로를 방지할 수 있는 것으로 판단된다<표 4.5>. 그러나 공간의 형태, 제습 유효면적에 따라 결로 방지 성능이 다르게 나타날 수 있기 때문에 기류분석과 같은 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다.

(2) 에어컨

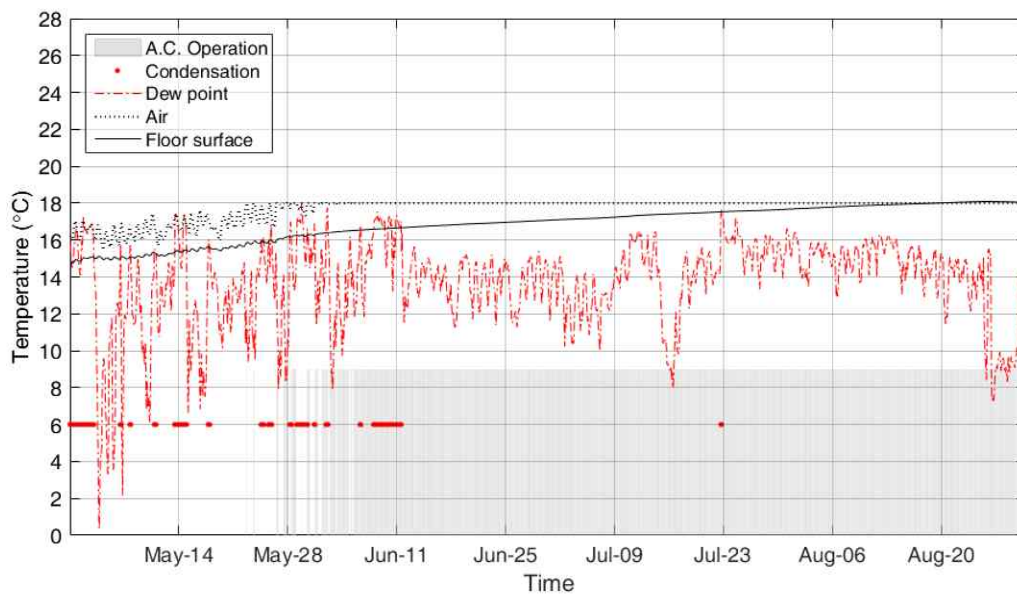
엘리베이터 홀에 결로 방지를 위해 적용되는 제습장치는 제습기뿐만 아니라 에어컨도 적용되고 있다는 것을 고찰을 통해 확인하였다. 제습부하를 제거하기 위한 에어컨의 성능은 제품카탈로그를 통해 확인하였고, 관련정보는 <표 4.6>와 같다. 에어컨은 공간의 온도가 설정온도보다 높을 때 작동하여 도에 따라 작동시간이 달라져 결로를 방지하는 효과가 달라질 가능성이 있다. 따라서 설정온도 변화에 따른 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과는 [그림 4.23]과 같다. 분석결과 설정온도가 낮을수록 결로 발생 시간이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 지하공간의 경우 지중으로부터 열을 빼앗기는 형태의 공간이기 때문에 공간의 하절기 온도가 약 17 ℃에서 22 ℃이다. 설정온도가 공간의 온도보다 낮을 때 에어컨이 작동하므로 설정온도가 낮을수록 작동되는 기간이 길어지고 이에 따라 제습하는 효과가 나타나는 것으로 판단된다. 설정온도가 18 ℃ 일 때, 대부분 기간에 에어컨이 작동하여 현열 및 잠열부하를 제거하여 7, 8월에는 결로가 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다[그림 4.24]. 따라서 결로를 방지하기 위해 에어컨을 가동할 때에는 설정온도가 낮게 설정하여야 할 것으로 판단된다.

<표 4.6> 제습부하 및 에어컨 성능

제습부하	에어컨 성능	
386 W (=14.8 kg/day)	냉방용량	3420 W
	COP	3.08 W/W
	토출풍속	390 CFM
	장치현열비	0.89 (가정)



[그림 4.23] 에어컨 설정온도에 따른 결로 발생 시간



[그림 4.24] 에어컨 가동(설정온도 18 °C)에 따른 표면온도 및 노점온도

4.4 소결

본 장에서는 지하주차장 결로 방지를 위해 적용되고 있는 방안들을 평가하였다. 주차공간은 단열재, 이중벽을 적용하여 열저항을 추가하거나 기존의 구조체의 함수율을 낮추어 단열성능을 향상시키는 방안인 외방수를 평가하였고, 열풍기와 같은 가열장비와 환기를 통한 결로 방지 가능성을 평가하였다. 엘리베이터 홀에 적용되는 단열재 적용과 에어컨, 제습기와 같은 제습장치의 결로 방지 방안을 평가하였다.

- 1) 주차공간에 단열재, 이중벽과 같이 기존 구조체에 열저항을 추가하여 구조체의 열성능을 향상시키는 방안을 적용하기 전에 어느 부위로의 열손실이 큰 지를 파악하였다. 그 결과 바닥으로부터의 열손실이 컸기 때문에 벽체에 단열재, 이중벽을 적용하는 큰 효과가 없고 바닥에 적용하는 것이 효과적일 것이라 판단된다. 외방수와 같은 구조체의 함수율을 낮추어 열성능을 향상시키는 방안은 결로 방지 효과가 있지만 그 효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 반면, 이동식 열풍기와 같은 가열 방안은 결로를 방지할 수 있는 것으로 나타났다.
- 2) 주차공간에서 환기팬을 통한 결로 방지 방안은 하절기 외기와 비슷한 수준의 절대습도로 인해 공간의 습기를 희석하는 효과가 거의 나타나지 않는 것으로 나타났다. 그러나 환기팬 작동 시 하절기 상대적으로 높은 외기온도가 유입되어 표면온도를 상승시키는 효과가 있지만 열량이 불충분하여 결로가 상당기간 발생하는 것으로 나타났다.

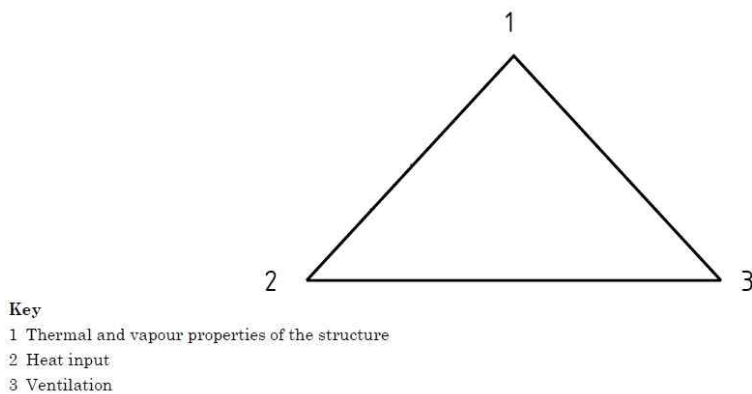
3) 엘리베이터 홀에 적용되는 결로 방지 방안 중 단열재 적용은 대부분 기간의 결로를 방지하는 것으로 나타났지만, 노점온도가 급격하게 상승하는 기간에는 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 단열재 적용만으로 결로를 완벽하게 방지하기에는 한계가 존재할 것으로 판단된다. 반면 제습장치를 통한 결로 방지 중 제습기 방안은 결로를 방지할 수 있는 것으로 나타났고, 에어컨의 경우 장치현열비가 달라 효과가 다르게 나타날 수는 있지만 설정온도가 낮을수록 결로 방지에 효과적일 것이라 판단된다.

제 5 장 지하주차장 결로 방지 방안 활용

5.1 개요

본 장에서는 결로 방지 가능한 방안들의 제어전략을 도출하여 효율적으로 결로를 방지하거나 결로 방지 방안의 조합하여 결로를 방지하는 방안을 제안하였다. 주차공간의 경우 가열기기, 환기팬과 같은 설비장비를 활용하여 결로를 방지하는 제어전략을 제안하였고, 이 제어전략과 단열방안을 조합하여 활용하는 방안을 제안하였다. 엘리베이터 홀의 경우 제습기, 에어컨과 같은 제습장치와 함께 단열방안을 조합하여 활용하는 방안을 제안하였다.

British standard에 따르면 결로를 방지하기 위해서 기본적인 원리로 3가지 요소가 균형을 이루어야한다[그림 5.1]. 이와 같은 요소들이 균형을 이루어 높은 표면온도와 낮은 수증기압이 유지해야 결로를 방지할 수 있다. 예를 들어, 구조체의 열적 성능을 높여도 습한 공기가 유입되면 결로가 발



[그림 5.1] Balance of factors in preventing condensation³⁷⁾

37) British Standard. op.cit

생활 수 있는 것처럼 하나의 요소에 치우치지 않고 균형을 이루어야한다. 따라서 적절한 구조체의 단열성능과 공간의 습기를 제거시키는 요소, 투입 열량이 균형을 이룰 때 효과적으로 결로를 방지할 수 있다. 그러나 지하주차장의 결로 발생 특성상 이 3가지 요소를 균형을 이루어 효과적으로 결로를 방지하는 것은 비합리적이라 판단된다.

주차공간의 경우 기밀하지 않은 구조이기 때문에 유입되는 모든 습기를 제거시키기에는 한계가 존재하기 때문에 제습장치를 활용하여 공간의 습기를 제거시키는 요소를 확보할 수 없다. 따라서 주차공간의 결로는 주로 입주 전 발생하므로 가열이 가능하기 때문에 열량 투입과 구조체의 단열성능을 확보하는 방안이 균형을 이루어야한다. 반면, 엘리베이터 홀의 경우 가열할 수 없으므로 제습기, 에어컨과 같은 제습장치를 통해 습기를 제거시키는 방안과 구조체의 단열성능을 확보하는 방안이 균형을 이루어야한다. 따라서 본장에서는 결로 방지가 효과가 있는 방안들을 조합하였을 때의 효과를 평가하고 경제성분석을 통해 타당성을 검토하였다.

5.2 주차공간 결로 방지 방안 활용

5.2.1 가열 제어를 통한 결로 방지

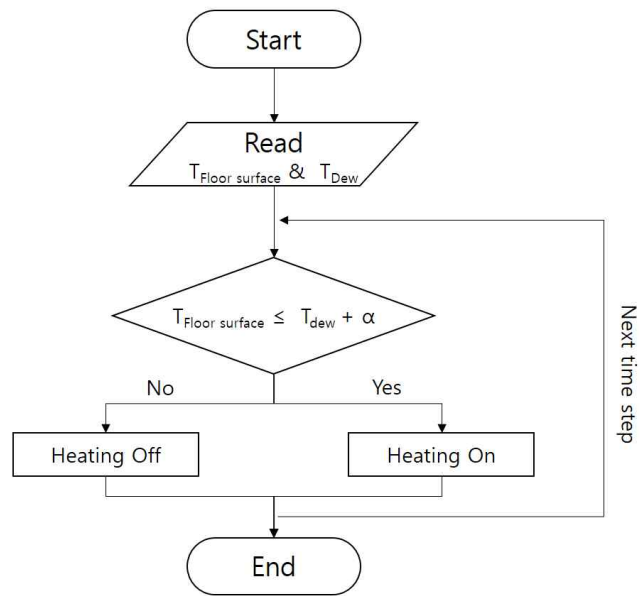
가열하는 방안은 열풍기와 같은 장비로 공간에 열량을 투입하는 방안이 있다. 환기팬은 앞서 분석한 바와 같이 습기측면에서 공간의 잠열을 제거하는 역할보다는 오히려 잠열을 증가시켜 결로 위험을 높이지만, 상대적으로 높은 온도의 외기를 유입하여 표면온도를 상승시키는 효과가 있다. 따라서 환기팬 작동은 외기를 유입시켜 가열하는 방안이라고 할 수 있다.

결로가 발생하는 하절기 모든 기간 동안 가열 작동시키는 것보다 제어를 통해 결로 위험이 높을 때에 작동시키는 것이 효율적이므로 어떠한 알고리즘으로 제어해야하는지에 대한 분석이 필요하다. 제어 알고리즘을 구현하기 위해 EnergyPlus의 EMS의 모듈을 이용하였다.

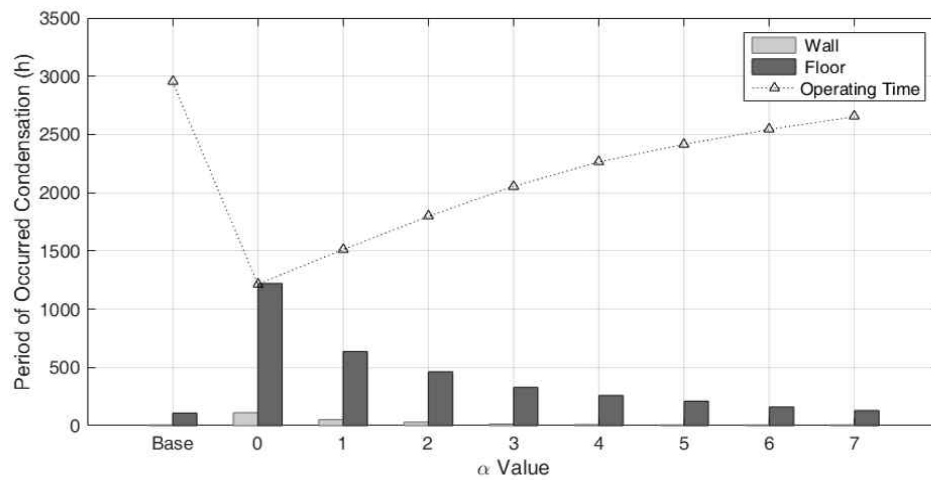
(1) 열풍기 제어 전략

결로가 생기지 않으면서 가열기기 가동시간을 최소화시키기 위해 구조체 표면 중 결로에 가장 취약한 바닥표면온도와 노점온도를 비교하여 가동시켰다. [그림 5.2]는 가열기기를 제어하기 위한 알고리즘이다. 아래 알고리즘과 같이 바닥표면온도가 공간의 노점온도보다 낮을 경우 가열기기를 가동시키며, 가열기기 가동으로 바닥표면온도가 즉각적으로 상승하지 않는 점을 고려하여 바닥표면온도가 노점온도와을 특정 값(α)을 합친 값보다 낮을 때 미리 가동하도록 하였다. 이 α 값을 결정하기 위하여 α 값을 변화시키며 분석하였으며 그 결과는 [그림 5.3]과 같다. 가열장비를 계속 가동시킬 경우 (Base), 약 3000시간 동안 가동해야하며 [그림 5.2]의 알고리즘을 활용하면 가동시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 α 값에 따라서 결로 발생시간과 가동시간이 달라지고 α 값이 0 일 때 결로 발생 시간이 가장 많은 것으로 나타났다. α 값이 0일 경우 공간의 노점온도보다 바닥 표면온도가 낮을 때만 가동하므로 축열체인 바닥을 즉각적으로 상승시키지 못하기 때문에 결로를 효과적으로 방지 못하는 것으로 나타났다.

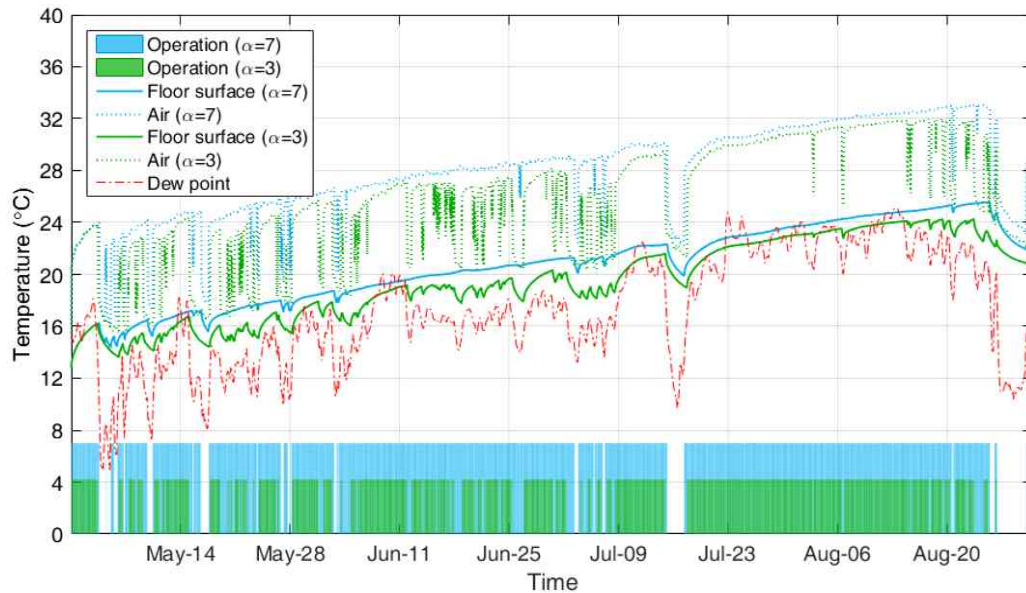
α 값에 상관없이 노점온도가 급격히 상승하는 구간에서는 결로 발생 위험이 높다[그림 5.4]. 따라서 노점온도 급격히 상승하는 기간을 제외한 기간에서 적절한 제어가 필요하고, 결로 발생시간과 가동시간을 고려하여 α 값을



[그림 5.2] 가열기기 제어 알고리즘



[그림 5.3] α 값 변화에 따른 결로 발생시간 및 가동시간

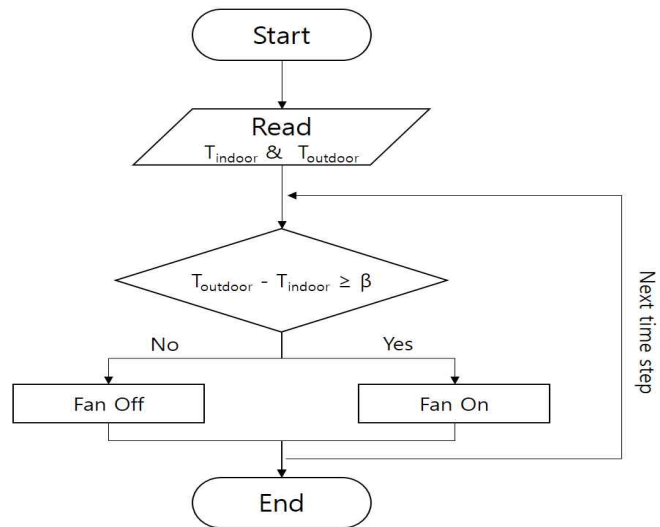


[그림 5.4] 가열 제어에 따른 공간, 바닥 표면 및 노점온도 변화 ($\alpha = 3, 7$)

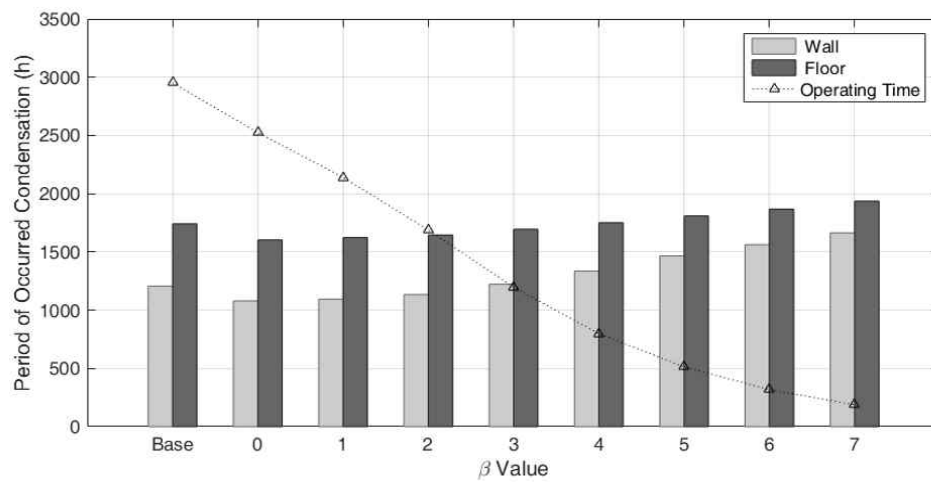
설정하는 것이 합리적이다. 구조체의 축열량에 따라 바뀔 수 있지만 본 연구 대상지에서는 α 값이 3 이상 일 때 결로 발생 시간이 거의 변화가 없고 가동시간도 증가하므로, α 값을 3으로 설정하여 가열 제어를 하는 것이 합리적이라 판단된다.

(2) 외기 도입을 통한 가열 제어 전략

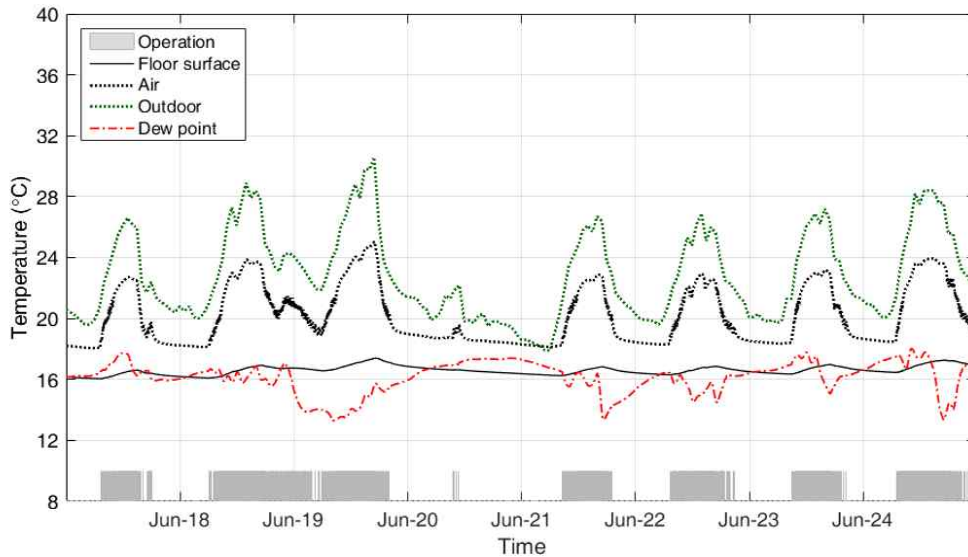
환기팬의 현열 획득량과 잠열 손실량 분석을 통해 환기팬은 작동은 습기를 희석하는 효과보다 상대적으로 높은 온도의 외기를 도입하여 공간의 온도 및 상승시키는 효과가 더 큰 것으로 분석되었다. 따라서 환기팬을 적게 가동시키면서 큰 열량을 획득하기 위해서는 주차공간과 외기의 온도차가 클 때 가동하는 것이 합리적이다. 따라서 환기팬 가동은 [그림 5.5]와 같은 알



[그림 5.5] 환기팬 제어 알고리즘



[그림 5.6] β 값 변화에 따른 결로 발생시간 및 가동시간



[그림 5.7] 환기팬 제어에 따른 외기, 바닥 표면 및 노점온도 변화 ($\beta=3$)

고리즘으로 제어하였다. 본 연구대상에 적합한 온도차 β 를 구하기 위하여 β 를 변화시키면 분석하였고, Base 케이스는 분석 기간 내내 가동한 결과이다. Base 케이스보다 결로가 저감되는 β 값은 0에서부터 3이며, Base 케이스 보다 결로 시간이 감소하는 이유는 실외가 실내보다 온도가 낮은 경우가동을 시키지 않아 환기를 통해 손실되는 열을 방지할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. β 값이 클수록 가동시간이 점점 감소하는 것을 하나, 획득할 수 있는 열량이 적어 결로 발생이 오히려 증가하는 것으로 나타났다. Base 케이스 보다 결로 발생시간이 적은 β 값 케이스들 중 가동시간이 가장 짧은 케이스인 실내외 온도차가 3도씨 이상일 때 가동하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단된다[그림 5.6]. 그러나 제어를 통해 가동시간은 줄일 수 있으나 결로 발생 시간은 큰 폭으로 줄일 수 없는 것으로 나타났다. [그림 5.7]은 β 가 3 일 때 일부구간의 외기, 바닥표면 및 노점온도 변화이다. 팬 가동은

β 가 3이므로 실내와 외기의 온도차가 3도 이상 일 때만 가동하였고, 그 결과 대부분 오후시간에 환기팬이 가동되는 것을 확인할 수 있다. 환기팬 가동으로 표면온도 및 공간의 온도가 상승하기는 하지만 상당기간 노점온도보다 표면온도가 낮아 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 환기 팬 가동을 통해 외기를 유입시키더라도 표면온도를 상승시키기에 열량이 충분하지 않기 때문으로 판단된다.

5.2.2 단열 적용 및 가열 제어를 통한 결로 방지

앞선 분석을 통해 바닥의 열성능을 향상시키는 것이 결로 방지에 중요한 역할을 한다는 것을 확인하였다. 바닥의 열성능을 향상시키고 가열과 같은 방안을 같이 적용한다면 가열 용량 및 시간을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 바닥에는 단열재를 설치할 수 없기 때문에 무근콘크리트를 추가적으로 적용했다고 가정하고 가열기기 및 환기팬의 제어를 통한 결로 방

〈표 5.1〉 주차공간 바닥 구조체의 열물성치 및 타입

재료		두께 범위 [mm]	열전도율 [W/(m·K)]	열저항 [(m ² ·K)/W]	
A	콘크리트	600	1.95	0.31	
B1	무근콘크리트 (섬유보강)	100-200	0.24	최소	0.42 (100 mm)
B2				최대	0.83 (200 mm)
바닥 구조체 타입				바닥 총 열저항 [(m ² ·K)/W]	
Base Type		A		0.31	
Type 1		A+ B1		0.73	
Type 2		A+ B2		1.14	

지 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 무근콘크리트의 열성능과 추가적으로 바닥 구조체 타입은 <표 5.1>와 같이 설정하였다. 이 타입들과 가열기기 및 환기팬의 제어 방안을 조합하여 케이스를 나누고, 결로발생 시간 및 가동시간을 분석하였으며 분석한 결과는 <표 5.2>과 같다. 바닥 구조체 타입별 가열기기 제어 케이스는 Case A, B, C이며, 바닥 구조체 타입별 환기 팬 제어 케이스는 Case D, E, F 이다. 바닥의 단열성능을 향상시킨 Case B, C의 경우 결로를 방지할 수 있으며 가열기기의 가동시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 반면, 기존의 바닥구성으로 가열기기를 제어한 Case A 경우 약 300시간 동안 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 반면 Case D, E, F 는 결로 발생을 막지 못하지만 환기팬만 가동했을 때보다 단열성능을 향상시킨

<표 5.2> 케이스별 결로 발생시간 및 가동시간

케이스			총 결로 발생 시간 [h]	총 가동 시간 [h]
구분	적용 방안	바닥 구조체 유형		
Case A	가열기기 제어	Base Type	329	2055
Case B	가열기기 제어	Type 1	6	1093
Case C	가열기기 제어	Type 2	0	811
Case D	환기 팬 제어	Base Type	1695	1197
Case E	환기 팬 제어	Type 1	780	677
Case F	환기 팬 제어	Type 2	611	544

경우 큰 폭으로 결로 발생시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 바닥의 단열성능이 확보되었을 때 가열기기 및 환기팬을 가동시키는 것이 결로 방지에 효과적이며 가동시간을 최소화시킬 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 주차공간 같은 경우는 바닥의 열성능을 확보하고, 이동식 열풍기와 같은 가열기기를 사용하여 제어를 하면 효율적으로 결로를 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

주차공간에서 단열성능을 향상시키고 가열기기를 작동하면 결로를 방지할 수 있음을 확인하였다. 이 결로 방지가 가능한 방안들 중 본 연구의 분석대상의 적합한 방지방안을 도출하기 위해 간단한 경제성 분석을 수행하였다. 이동식 열풍기는 동절기 콘크리트 양생을 위해 건설사 자체적으로 다수의 열풍기를 확보하고 있으므로 초기투자비용은 없다고 가정하였다. 무근콘크리트의 타설의 초기투자비용은 건설공사 표준시장단가 적용공종 및 단가를 참고하여 1 m³ 당 약 2만 3천원으로 가정하여 초기투자비용을 산정하였다. 연간운영비를 계산하기 위해 열풍기 제품카탈로그를 참고하였으며, 본 연구 대상의 결로를 방지하기 위한 가열량을 확보하기 위해서 최대 발열량이 약

〈표 5.3〉 주차공간의 결로 방지 케이스별 초기투자비용 및 연간운영비

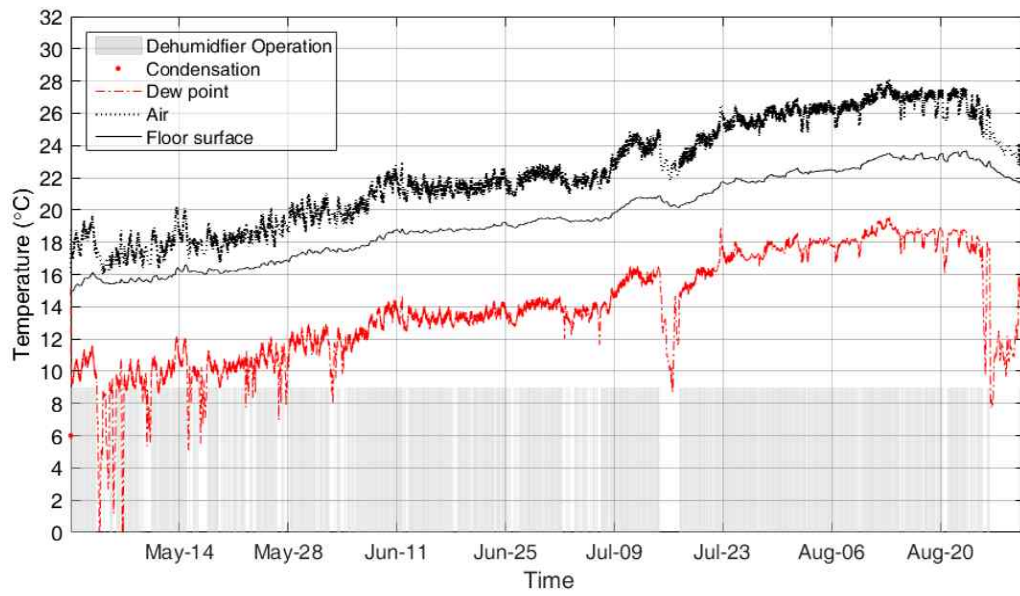
케이스		초기투자비용		연간운영비 (바닥면적 : 12674 m ²)
Case A	가열기기 제어 + Base Type	-		4,300 만원 (약 3,400원/m ²)
Case B	가열기기 제어 + Type 1	무근콘크리트 (100mm)	2,900 만원	2,300 만원 (약 1,800원/m ²)
Case C	가열기기 제어 + Type 2	무근콘크리트 (200 mm)	5,800 만원	1,600 만원 (약 1,300원/m ²)

35 kW이고 연료(백등유)소모량은 약 3.6 L이며 소비전력이 약 290 W인 열풍기 9대를 적용하였다고 가정하였다. 백등유의 가격은 2016년 11월 대리점 판매기준인 리터 당 610원으로 가정하고, 주택용(고압) 전기요금으로 계산하여 연간운영비를 산출하였다<표 5.3>. 분석기간은 결로가 발생하는 입주 전, 공사기간이므로 약 3년으로 가정하여 분석할 경우 Case B가 경제성측면에서 유리할 것으로 판단된다. 따라서 경제성 측면에서도 단열성능을 확보하고 가열기기를 운영하는 것이 경제적인 것이라 판단된다.

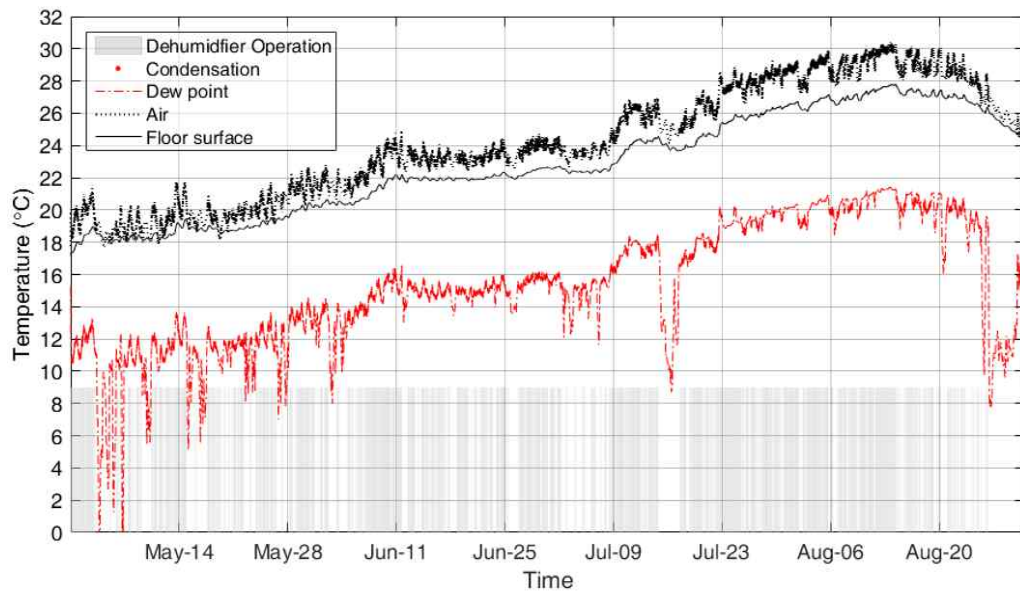
5.3 엘리베이터홀 결로 방지 방안 활용

앞서 분석을 통해 엘리베이터 홀에 제습장치 적용을 통해 결로를 방지할 수 있다는 것을 확인하였고, 단열재 적용은 일부 습도가 높은 구간에서 결로가 발생하나 대부분 기간의 결로를 방지할 수 있는 것을 확인하였다.

제습기와 단열재를 함께 적용하면 표면온도와 공간의 온도가 상대적으로 높게 유지되어, 공간의 상대습도가 낮아지고 공간의 상대습도가 설정상대습도를 초과하는 기간이 짧아져 제습기 가동시간을 감소할 수 있을 것으로 예측된다. [그림 5.8]과 [그림 5.9]은 단열재가 적용된 공간에 제습기를 가동시켰을 때와 제습기만 가동시켰을 때의 공간, 바닥 노점온도의 변화이다. 제습기 가동은 설정습도 60 % 로 하였으며, 단열재는 100 mm 두께로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 두 케이스 모두 결로가 발생하지 않은 것으로 나타났다. 단열재가 적용된 공간에 제습기를 가동할 경우 그렇지 않은 공간보다 약 2 °C 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 단열재로 인해 지중으로부터의 빼앗기는 열량이 최소화되고 제습기로부터 방출되는 열이 잘 빠져나가지 않



[그림 5.8] 제습기 가동 시 공간, 바닥 표면 및 노점온도



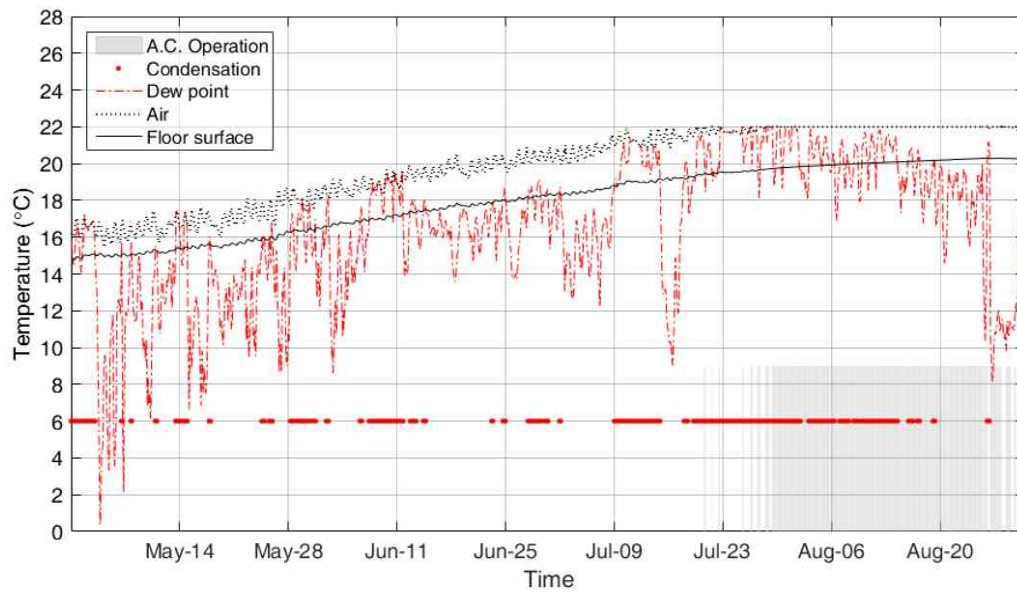
[그림 5.9] 제습기 가동 시 공간, 바닥 표면 및 노점온도 (단열재 적용)

〈표 5.4〉 단열재 적용에 따른 제습기의 제습량 및 가동시간

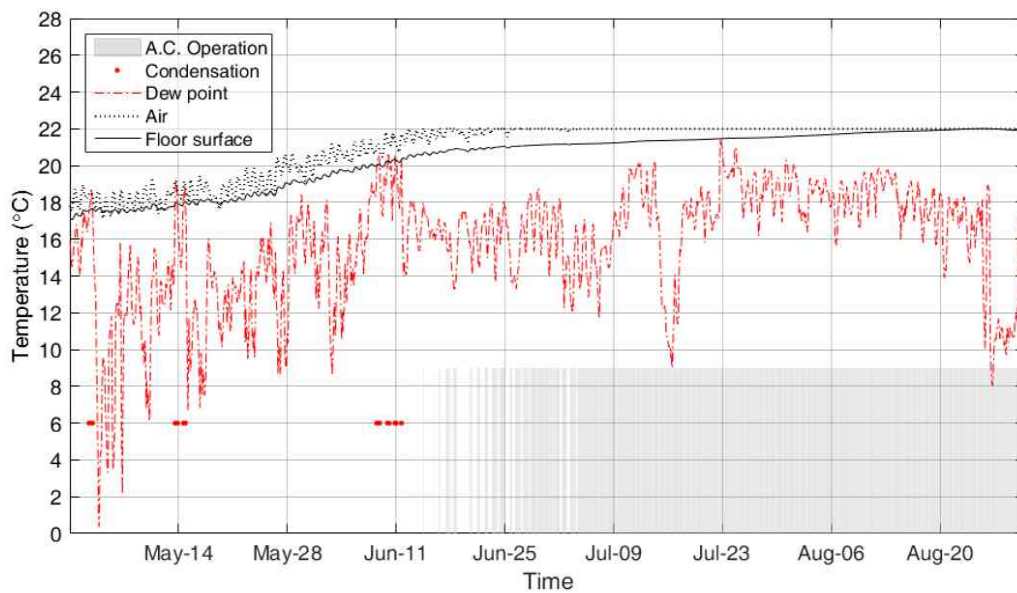
	월평균 제습량 [kg/day]				최대 제습량 [kg/day]	총 가동시간 [h]
	5월	6월	7월	8월		
제습기 가동	5월	6월	7월	8월	7.9	2416
	2.6	3.2	4.2	4.5		
제습기 가동 및 단열재 적용	5월	6월	7월	8월	5.8	1914
	1.8	1.9	2.7	2.6		

아 온도가 상승하는 것으로 판단된다. 〈표 5.4〉는 단열재 적용에 따라 제습기의 제습량 및 가동시간이다. 단열재가 적용된 공간에 제습기를 가동하는 것이 그렇지 않은 것보다 평균 제습량과 가동시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 단열재가 적용된 공간은 보다 작은 용량의 제습기를 설치할 수 있을 것으로 판단되며 가동시간도 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

결로를 방지하기 위해 제습기뿐만 아니라 에어컨도 적용되고 있으며, 설정온도에 따라 에어컨의 결로 저감 효과가 다르게 나타나지만 에어컨을 통해서 결로를 저감할 수 있는 것을 확인하였다. 하절기 지중의 온도가 공간의 온도보다 상대적으로 낮아 열을 빼앗기는 형태이므로 에어컨 설정온도에 따라 냉방에 걸리는 기간이 달라져 결로 저감 효과가 다르게 나타난다. 이러한 공간에 단열재를 적용하게 되면 지중으로부터 빼앗기는 열량이 줄어들어 공간의 온도가 상승하여 냉방부하가 발생하는 기간이 길어질 것으로 예측 된다. [그림 5.10]과 [그림 5.11]은 단열재가 적용된 공간에 에어컨을 가동시켰을 때와 에어컨만 가동시켰을 때의 공간, 바닥 노점온도의 변화이다.



[그림 5.10] 에어컨 가동에 따른 바닥 표면 및 노점온도



[그림 5.11] 에어컨 가동에 따른 바닥 표면 및 노점온도 (단열재 적용)

〈표 5.5〉 단열재 적용 및 에어컨 가동에 따른 결로발생 시간 및 가동시간

	월별 결로 발생 시간 [h]				총 결로 발생 시간 [h]	총 가동시간 [h]
	5월	6월	7월	8월		
에어컨 가동	5월	6월	7월	8월	1023	785
	156	185	409	272		
에어컨 가동 및 단열재 적용	5월	6월	7월	8월	42	1662
	25	18	0	0		

에어컨의 설정온도는 22 ℃이며, 단열재는 100 mm를 적용하였다. 단열재를 적용할 경우 공간의 온도와 표면온도가 단열재를 설치하지 않은 경우보다 높아 냉방하는 기간이 길어지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 단열재를 적용하지 않고 에어컨을 가동시켰을 때에는 설정온도보다 낮은 기간이 길어 대부분 냉방하지 않는 것을 확인할 수 있고, 에어컨이 작동하여도 냉방부하가 크지 않아 제습효과가 크지 않은 것으로 판단된다. 따라서 단열재를 적용하고 에어컨을 가동하면 결로를 방지할 수 있는 것으로 나타났다.

엘리베이터 홀에서 제습기를 가동하거나, 단열재 적용과 함께 제습기 또는 에어컨을 가동하여 결로를 방지할 수 있음을 확인하였다. 이 방안들 중 본 연구의 분석대상의 적합한 방지방안을 도출하기 위해 간단한 경제성 분석을 수행하였다. 단열재는 유통물가 2015년 6월호를 참고하여 단열재 100 mm를 설치할 때 재료비와 공사비를 포함하여 단위 면적당 약 32,000원으로 하였고, 지중에 면한 면적 총 26 m² 을 단열공사를 한다고 가정하였다. 또한, 제습기와 에어컨은 본 분석에서 활용된 장비의 용량에 해당되는 제품가

〈표 5.6〉 엘리베이터 홀 결로 방지 케이스별 초기투자비용 및 연간운영비

Cases		초기투자비용		연간운영비
Case I	제습기가동	제습기	25만원	16만원/년
Case II	제습기가동 + 단열재 설치	제습기	25만원	12만원/년
		단열재	83만원	-
Case III	에어컨가동 + 단열재설치	에어컨	75만원	35만원/년
		단열재	83만원	-

격을 참고하였다. 제습기의 설정습도는 60 % 이며, 에어컨의 설정온도는 22℃로 가동시간을 분석하였고 각각의 소비전력은 335 W, 740 W로 하여 주택용(고압) 전기요금으로 전기요금을 계산하여 연간운영비를 도출하였다(표 5.6). 분석결과 본 연구대상지에는 Case I 이 가장 경제적인 것이라 판단된다. 단열재 설치와 제습기 가동을 하면 연간운영비를 절감할 수 있으나 초기투자비용이 크기 때문에 단순투자비회수기간은 약 21년이다. 그러나 앞서 기술한바와 같이 단열재를 설치하고 제습기를 가동하면 제습기의 용량을 줄일 수 있기 때문에 제습기의 초기투자비용을 줄일 수 있고, 설정 상대습도를 상대적으로 높게 설정할 수 있으므로 연간운영비를 보다 더 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 분석 공간의 제습부하, 설정 상대습도 따라 달라지므로 이에 따른 추가적인 경제성 분석이 필요할 것으로 판단된다.

5.4 소결

본 장에서는 지하주차장 결로 방지가 가능한 방안들을 활용하여 결로를 방지할 수 있는 방안들을 제안하였다. 결로 방지 가능한 방안들을 조합하거나 설비장비를 제어하는 방안에 대한 결로 방지 성능 및 경제성 평가를 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 주차공간에 열풍기와 같은 가열기기를 제어함으로써 가동시간을 줄일 수 있고, 결로를 방지할 수 있음을 확인하였다. 환기팬을 제어하는 방안은 가동시간을 줄일 수 있으나 결로 방지에 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 그러나 바닥의 단열성능을 향상시키고 환기팬 가동 제어 방안을 활용하면 상당기간 결로 발생 시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 바닥의 단열성능이 확보된 공간에서 가열기기를 제어하여 가동하면 결로 방지뿐만 아니라 가동시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 경제성 측면에서도 단열성능을 확보하고 가열기기를 운영하는 것이 경제적인 것으로 판단된다.
- 2) 엘리베이터 홀의 경우 단열재를 적용 후 제습기를 가동하면 단열재를 적용하지 않은 공간보다 제습량이 줄어드는 것으로 나타났다. 에어컨의 경우 단열재를 함께 적용하면 높은 설정온도로 결로 방지가 가능한 것으로 나타났다. 그러나 경제성 측면에서 단열재와 에어컨을 적용하는 것은 불리하고, 제습기만을 가동하는 것이 가장 경제적이라 판단된다.

제 6 장 결 론

본 연구에서는 공동주택 지하주차장의 결로 방지를 위한 방안의 방향성을 제시하는 것을 목적으로 하여 지하주차장의 결로 발생 메커니즘을 파악하였고, 기존의 적용되는 방지 방안을 평가하여 결로 방지가 가능한 방안들을 선별하였으며, 효과적으로 결로를 방지할 수 있도록 방지방안을 활용하여 방안의 조합 및 제어 방법을 제안하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기준 및 가이드라인, 연구 문헌 그리고 전문가 인터뷰를 통하여 기존의 지하주차장 결로 방지 방안을 파악하였다. 지하주차장은 크게 주차공간과 엘리베이터 홀로 나누어 결로 방지 방안을 정리할 수 있다. 주차공간의 경우 단열재, 이중벽, 외방수와 같은 단열성능을 향상시키는 방안과 환기시스템을 적용하는 방안을 확인하였다. 엘리베이터 홀의 경우 단열재, 드라이에어리어, 이중벽과 같이 단열성능을 향상시키는 방안과 제습기, 에어컨과 같은 제습장치를 적용하는 방안을 확인하였다.

(2) 지역별 지중 온도 및 외기조건, 지하주차장 구조체의 열성능, 내부발열등에 의해서 발생 시기는 다소 차이가 있지만 5월부터 9월까지 결로 발생 가능성이 존재하고, 결로 발생 위치는 최하층의 바닥 부위가 결로 발생 가능성이 가장 큰 것을 확인하였다. 외기의 온도변화에도 주차공간 및 엘리베이터 홀 공간의 온도나 구조체의 표면온도는 지중의 영향으로 거의 변화가 없지만 절대습도는 외기 변화 범위 안에 존재하는 것으로 나타났다. 따라서

하절기 습기의 유입으로 결로가 발생하는 것으로 판단되며 바닥 표면온도와 노점온도의 차이는 최대 3 ℃ 차이가 나는 것으로 나타났다. 주차공간의 경우 입주 후 내부발열 등으로 인해 온도가 상승하여 결로 발생 위험이 적어지는 것으로 나타났지만, 엘리베이터 홀의 경우 내부발열 요소가 없어 결로 발생 위험이 더 높은 것으로 판단된다. 따라서 주차공간에는 입주 전 하절기에 초점을 맞추어 결로 방지 방안을 적용해야하며, 엘리베이터 홀은 주차공간보다 더 오랜기간 결로 방지를 위한 방안이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

3) 주차공간의 경우 일반적으로 바닥면적이 넓고 바닥으로부터의 열손실이 크기 때문에 단열재, 이중벽과 같은 열성능을 향상시키는 방안을 바닥이 아닌 벽체에 적용하는 것은 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 또한, 외방수와 같은 구조체의 함수율을 낮추어 열성능을 향상시키는 방안은 결로 방지에 효과가 있지만 그 효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 환기팬을 통한 결로 방지 방안은 하절기 외기와 비슷한 수준의 절대습도로 인해 공간의 습기를 희석하는 효과가 거의 나타나지 않고, 환기팬 작동 시 하절기 상대적으로 높은 외기온도가 유입되어 표면온도를 상승시키는 효과가 나타났다. 그러나 환기팬 작동 시 외기유입으로 공급되는 열량이 불충분하여 결로가 상당기간 발생하는 것으로 나타났다.

엘리베이터 홀의 경우 결로 방지를 위해 단열재와 제습장치를 적용할 수 있으며, 단열재의 경우 노점온도가 급격하게 상승하는 일부 기간에서 결로 발생하는 것으로 나타나는 것으로 보아 결로를 완벽하게 방지하지는 못하는 것으로 판단된다. 반면, 제습기 방안은 결로를 방지할 수 있는 것으로 나타

났고, 에어컨의 경우 장치현열비에 따라 효과가 다르게 나타날 수는 있지만 설정온도가 낮을수록 결로 방지에 효과적일 것이라 판단된다.

(4) 주차공간에 열풍기와 같은 가열기기를 제어함으로써 가동시간을 줄일 수 있고, 결로를 방지할 수 있음을 확인하였다. 환기팬을 제어하는 방안은 가동시간을 줄일 수 있으나 결로 방지에 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 그러나 바닥의 단열성능을 향상시키고 환기팬 가동 제어 방안을 활용하면 상당기간 결로 발생 시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 바닥의 단열성능이 확보된 공간에서 가열기기를 제어하여 가동하면 결로 방지뿐만 아니라 가동시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 경제성 측면에서도 단열성능을 확보하고 가열기기를 운영하는 것이 경제적인 것으로 판단된다.

엘리베이터 홀에 단열재를 적용하면 제습기 용량을 작게 산정하여 설계할 수 있음을 확인하였고, 단열재가 적용된 공간에 제습기를 가동하면 단열재를 적용하지 않은 공간보다 제습량이 줄어드는 것으로 나타났다. 또한, 에어컨의 경우 단열재를 함께 적용하면 높은 설정온도로 결로 방지가 가능한 것으로 나타났다. 그러나 경제성 측면에서 단열재와 에어컨을 적용하는 것은 불리하고, 제습기만을 가동하는 것이 가장 경제적이라 판단된다.

(6) 본 연구는 지하주차장의 결로 방지 방안을 평가하고 가능한 대안들을 활용하여 결로를 방지하기 위한 방향성을 제시하기 위한 연구로 열풍기, 제습기의 기류에 의한 표면 열전달 계수 변화를 고려하지 않았다. 또한, 열교 부위를 고려하지 않았으며, 재료의 투습에 의한 부분을 고려하지 않았기 때문에 이와 같은 부분을 고려한 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김곤 외, 2009, 공동주택 지하주차장의 조명설계 및 운용실태에 따른 성능평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 16(9), pp.189-196
2. 김종엽 외, 2014, 공동주택 결로 종합대책 방안 연구. 토지주택 연구원
3. 국토교통부, 2014, 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인, p.96
4. 박지훈, 2000, 건물 지하층 결로방지를 위한 공법개발과 성능평가에 관한 연구, 서울대학교
5. 서용원, 2010, 공동주택 지하주차장의 열적특성을 고려한 바닥 표면결로방지 방안에 관한 연구, 한국건축시공학회 추계 학술논문 발표대회 논문집, 10(2), pp.49-53
6. 오길환 외, 2007, 공동주택 지하주차장의 壁體表面結露防止를 위한 적정 공법 선정에 관한 연구, 한국건축시공학회 추계 학술논문 발표대회 논문집, 7(2), pp.101-104.
7. 이미연 외, 2009, 공동주택 지하층 공용부위에 단열재 적용에 따른 결로 저감효과 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 30(6), pp.255-262
8. 이승복 외, 2002, 지하공간의 결로방지를 위한 설계기법 및 기준에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 18(1), pp.249-258
9. 이현정 외, 2010, 공동주택 지하 공간의 표면결로 발생 현황에 관한 연구, 한국생태환경건축학회, 10(2), pp.313-316
10. 장상묵., 2015, 지하구조물 외방수공법의 결로 환경 영향에 관한 연구, 서울과학기술대학교
11. 정창현, 2012, 지하주차장 환기량에 따른 벽체표면온도의 변화, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 32(2), pp.345-346
12. 정창현, 2014, 시뮬레이션을 이용한 지하주차장 이중벽체 중공층 환기에 의한 표면결로 발생시간 감소 가능성 분석, 대한건축학회지회연합회 논문집, 16(5), pp.223-230
13. 정창현 외, 2016, 공동주택 지하주차장 유공벽의 표면결로방지 기법 검토, 대한

- 건축학회 논문집, 32(10), pp.79-86
14. 한국응용통계연구원, 유통물가정보 2015년 6월호
 15. 홍석진, 2010, 공동주택 지하주차장 결로 방지 방안, 한국건축친환경설비학회 논문집, 4(3), pp.157-164
 16. SH공사, 2013, 공동주택 공용부위 결로 저감방안에 관한 연구
 17. ASHRAE STANDARD, 2009, Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
 18. ASHRAE, 2013, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
 19. British Standard, 2002, Code of practice for control of condensation in buildings, pp.5-9
 20. DOE, 2016 EnergyPlus 8.5 Engineering Reference
 21. G. P. Mitalas, 1982, Basement Heat Loss Studies At DBR/NRC, National Research Council of Canada, Division of Building Research
 22. Lu Xing, 2008, Estimations of Undisturbed Ground Temperatures using Numerical and Analytical Modeling, Oklahoma State University.
 23. P Pfrommer. et al., 2005, Coupled simulations for hygrothermal investigation of subterranean car parks and similar spaces, Building Serv. Eng. Res. Technology. 26,1 pp.11-33
 24. Xia Fang et al., 2011, Using EnergyPlus to perform dehumidification analysis on Building America homes, HVAC&R Research, 17(3), pp.268-283

ABSTRACT

Evaluation and Application of Proactive Solution for Preventing Condensation in Underground Parking lot of Apartment Building

By Lee, Chang Rae

Department of Architecture and Architectural Engineering

Master's Course in the Graduate School of

Seoul National University

Advised by Professor Kim, Kwang Woo

2017. 2.

The condensation has always been considered as a major problem in underground car parks. Condensation makes floor slippery and affects indoor air quality in underground car parks. Although there are various proactive solutions applied for preventing condensation, there is a possibility of condensation. Therefore, it is necessary to investigate condensation occurrence mechanism in underground parking lot before applying these solutions.

This study was conducted to analyze the mechanism in underground parking lot, and to evaluate the existing underground parking lot proactive solutions proposed by standards, literature and expert interviews. The evaluated proactive solutions were utilized to suggest the direction of proactive solutions in underground parking lot.

The results of this research are summarized as follows:

- 1) As a result of condensation occurrence mechanism in underground parking lot, there is no significant effect on the surface temperature despite change of outdoor temperature. On the other hands, the outdoor absolute humidity is similar with the underground parking lot. Therefore, there is a risk of condensation because of humid outdoor air in summer and the temperature difference between surface and dew point temperature is about 3 °C. In parking space, the risk of condensation is reduced because of internal heat gain in the space. On the other hand, in elevator hall, the risk of condensation persists because there is no internal heat gain.
- 2) In parking space, the improving thermal performance solutions such as insulation, double wall should be applied on the floor. In addition, the external waterproof which is improving thermal performance of structure by lowering the water content of the structure has not shown a significant effect of preventing condensation. The ventilation system solution for prevention condensation showed that condensation occurred for a considerable period of time due to insufficient heating load by the inflow of outdoor air.

In elevator hall, it is possible to apply insulation and dehumidification equipment to prevent condensation. In the case of insulation, it cannot completely prevent condensation. On the other hand, it shows that dehumidifier can prevent condensation.

In case of air conditioner, it will be effective to prevent condensation in low setpoint temperature.

- 3) In parking space, improvement of the thermal performance of the floor and the use of ventilation fan operation control method can reduce condensation occurrence time for a considerable period of time. In addition, the heating equipment control method is operated in a space where the improved thermal performance of the floor is ensured, it is possible to prevent condensation. It is economical method which is heating equipment control method is operated in space where the improved thermal performance of structure.

In elevator hall, dehumidification amount is decreased as compared with the space without insulation when the dehumidifier is operated in space with the insulation. In air conditioner, it is possible to prevent condensation at high set point temperature by installing insulation. However, it is economically disadvantageous to install insulation and operate air conditioner, and it is economical method to operate only dehumidifier.

Keywords : Underground parking lot, Condensation, Insulation, Heating, Ventilation, Dehumidification

Student Number : 2015-21115